



TUGAS AKHIR – RC 14 1501

**MODIFIKASI JEMBATAN SEMBAYAT BARU II
MENGUNAKAN SISTEM JEMBATAN BUSUR RANGKA
BAJA**

RIO PRASMORO
NRP. 3114 106 052

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran M.S.

Dosen Pembimbing II
Endah Wahyuni S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – 14 1501

**MODIFIKASI JEMBATAN SEMBAYAT BARU II
MENGUNAKAN SISTEM JEMBATAN BUSUR RANGKA
BAJA**

**RIO PRASMORO
NRP. 3114 106 052**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO, MS.
ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT – 14 1501

**MODIFICATION OF SEMBAYAT BARU II BRIDGE USING
STEEL TRUSS ARCH BRIDGE SYSTEM**

**RIO PRASMORO
NRP. 3114 106 052**

**SUPERVISORS
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO, MS.
ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI JEMBATAN SEMBAYAT BARU II MENGUNAKAN SISTEM JEMBATAN BUSUR RANGKA BAJA

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

RIO PRASMORO

NRP. 3114106052

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, M.Sc. (Pembimbing I)

2. Endah Wahyuni S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing II)

SURABAYA

JANUARI 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

MODIFIKASI JEMBATAN SEMBAYAT BARU II MENGUNAKAN SISTEM JEMBATAN BUSUR RANGKA BAJA

Nama Mahasiswa : Rio Prasmoro

NRP : 3114 106 052

Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS

**Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, M.S.
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.**

ABSTRAK

Perencanaan struktur jembatan perlu mempertimbangkan desain yang tepat agar material yang digunakan menjadi efektif. Jembatan Sembayat Baru II di Kabupaten Gresik yang didesain menggunakan jembatan busur beton dengan bentang 93 m dimana terdapat pilar pada badan sungai, menjadi tidak efektif karena dapat mengurangi effective linear waterway sungai tersebut. Pertimbangan jembatan bentang panjang yang berupa busur merupakan keputusan yang tepat, hanya saja bentang yang didesain masih kurang maksimal. Dalam perencanaan ini, jembatan Sembayat Baru II didesain dengan tetap menggunakan jembatan busur namun material beton dirubah menjadi material baja, dimana dengan penggunaan material baja, bentang jembatan dapat lebih maksimal. Sehingga dari desain awal yang terdapat 5 bentang jembatan prategang dan 1 bentang jembatan busur, dirubah menjadi 4 bentang jembatan prategang dan 1 jembatan busur tipe a half through arch dengan bentang 144 m.

Dasar perencanaan jembatan mengacu pada peraturan BMS 1992 dan SNI 1729-2015. Tahapan perencanaan jembatan dimulai dari perhitungan lantai kendaraan dan trotoar, dilanjutkan dengan perhitungan gelagar memanjang dan melintang serta perhitungan jumlah shear connector. Kemudian analisa perhitungan struktur utama dan sekunder menggunakan bantuan software MIDAS Civil 2011.

Dari hasil perencanaan, didapat profil struktur busur utama yaitu menggunakan profil Box 800x500x38x38 dan batang tarik menggunakan profil Box 800x600x45x45. Perhitungan accidental load yang berupa 1 batang penggantung putus menghasilkan kesimpulan bahwa jembatan masih mampu menahan beban layan selama masa perbaikan. Metode pelaksanaan yang ditinjau menggunakan sistem Full Cantilever.

Kata Kunci : Jembatan busur, half through arch, metode pelaksanaan, accidental load.

MODIFICATION OF SEMBAYAT BARU II BRIDGE USING STEEL TRUSS ARCH BRIDGE SYSTEM

Name : Rio Prasmoro
NRP : 3114 106 052
Department : Teknik Sipil FTSP-ITS
Supervisors : Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, M.S.
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The right design are needed in planning of bridge structure to reach the effective number of materials. Sembayat Baru II Bridge in Gresik which designed using concrete arch bridge with 93 m span and a pier in the middle of canal is not effective because it can make the scouring problem. The decision to using arch bridge is right, but the span design of bridge are not effective. In this design, Sembayat Baru II bridge is designed with arch bridge, but the concrete material is replaced with steel. The steel material can increase the span of bridge, thus previously the design with 5 span prestressed bridge and 1 arch bridge, become to 4 span prestressed bridge and 144 m span arch bridge with a half through type.

The codes for the bridge design used BMS 1992 and SNI 1729-2015. The steps of planning are started from determined the bridge deck and pedestrian way, continued with determined the stringers and cross girders and calculating the number of shear connectors. The next step is to analyze the primary and secondary structures with MIDAS Civil 2011 software

The result of primary arch structures and tie beams used box profile of 800x500x38x38 and 800x600x45x45 respectively. The design of bridge was also considered the accidental load condition, which 1 hanger collapse. The result concluded that the bridge still survive to handle the service load along the

maintenance time. This final project provided a staging analysis using full cantilever system.

Key words : Arch bridge, half through arch, Construction method, accidental load.

KATA PENGANTAR

..وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ..

..... Dan Kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu) dan supaya Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)Nya dan rasul-rasul-Nya padahal Allah tidak dilihatnya. (QS. Al-Hadid:25)

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya, dan Yang telah menciptakan besi serta memberikan ilmu kepada umat manusia untuk mempelajari material besi yang bermanfaat untuk umat manusia.

Laporan ini kami buat untuk memenuhi persyaratan sidang strata 1, dan bertujuan untuk mengaplikasikan ilmu yang telah didapat semasa perkuliahan. Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan dan motivasi. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat sehat dan nikmat berfikir agar penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
2. Orang tua dan adik-adik yang memberi seluruh perhatian, semangat, mulai awal kuliah hingga lulus.
3. Dosen pembimbing Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran M.S. dan Endah Wahyuni S.T., M.Sc., Ph.D. yang telah memberikan ilmu serta bimbingan selama penulisan tugas akhir ini.
4. Putri Nuliandini yang selalu memberi semangat dalam menghadapi perkuliahan.
5. Keluarga PNJ-ITS, keluarga seperantauan yang selalu semangat dalam menjalani perkuliahan. Angga Hermawan, Rizky Nugraha, Seno Maris Utomo, Ryan Topik, Dilla Ayu Laila Nurul Bayyinah, Farah Nasya, Ingki Samsya, Tegar Fadhlul Hadi, Muhammad Rifanli, Faizah Syahidah, Mutiara Nurul Faadhilah, Siti Nur Sarah Mayangsari, Rahmawati Cahyaningsih, Muhammad Taufik, Achmad Nur Ali.
6. Teman-teman lintas jalur 2014 genap yang bersama-sama menghadapi sulitnya kuliah.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan yang perlu diperbaiki. Kami juga mohon maaf atas segala kekurangan yang ada dalam laporan ini.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II STUDI PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Bagian Jembatan Busur.....	7
2.2.1 Lantai Kendaraan (Deck Girder).....	8
2.2.2 Batang Lengkung (Arch Ribs).....	11
2.2.3 Batang Penggantung (Hanger).....	13
2.3 Sambungan.....	14
2.3.1 Pengelasan.....	14
2.3.2 Baut.....	16
2.4 Perletakan.....	17

2.4.1	Fixed Pot Bearing	17
2.4.2	Unidirectional Pot Bearing	18
2.4.3	Multidirectional Pot Bearing	18
2.5	Metode Pelaksanaan Jembatan Busur.....	18
2.5.1	Kantilever Sebagian.....	19
2.5.2	Kantilever Penuh	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Diagram Alir Perencanaan.....	21
3.2	Pengumpulan Data dan Studi Literatur	22
3.2.1	Data Perencanaan	22
3.2.2	Studi Literatur.....	23
3.3	Preliminary Desain	23
3.4	Pembebanan Jembatan.....	24
3.4.1	Beban mati.....	25
3.4.2	Beban Lalu Lintas.....	26
3.4.3	Beban aksi lingkungan.....	29
3.5	Perencanaan Bangunan Atas	35
3.5.1	Lantai kendaraan.....	35
3.5.2	Gelagar memanjang.....	35
3.5.3	Gelagar melintang.....	36
3.5.4	Struktur Pemikul Utama	37
3.6	Analisa Struktur dan Penentuan Dimensi	38
3.7	Kontrol Stabilitas	38
3.7.1	Kontrol Gelagar Memanjang dan Melintang	38
3.7.2	Kontrol Rangka Batang	39

3.8	Perencanaan Sambungan.....	39
3.9	Perencanaan Perletakan.....	40
3.10	Staging Analysis.....	41
3.11	Pengecekan Accidental Load	42
3.12	Gambar Rencana	42
BAB IV PERENCANAAN PELAT LANTAI, TROTOAR, DAN GELAGAR JEMBATAN.....		43
4.1	Perencanaan Pelat Lantai.....	43
4.1.1	Pembebanan.....	43
4.1.2	Penulangan Lantai Kendaraan.....	44
4.1.3	Perhitungan Geser Pons Lantai Kendaraan	46
4.2	Perencanaan Trotoar.....	48
4.2.1	Perencanaan Sandaran.....	48
4.2.2	Perencanaan Kolom Sandaran.....	49
4.2.3	Perencanaan Kerb.....	52
4.3	Gelagar Memanjang	55
4.3.1	Pembebanan.....	55
4.3.2	Kontrol Tekuk Lokal	57
4.3.3	Kontrol Tekuk Lateral	58
4.3.4	Kontrol Geser	59
4.3.5	Kontrol Lendutan	60
4.3.6	Sambungan Gelagar Memanjang – Melintang	61
4.4	Gelagar Melintang.....	62
4.4.1	Pembebanan.....	63
4.4.2	Kontrol Penampang Komposit	67
4.4.3	Kontrol Geser	68

4.4.4	Kontrol Lendutan.....	70
4.4.5	Perhitungan Shear Connector	71
4.4.6	Sambungan Gelagar Melintang – Main Girder ...	72
BAB V PERENCANAAN STRUKTUR JEMBATAN		75
5.1	Rencana Modifikasi Jembatan.....	75
5.1.1	Pembebanan Jembatan.....	76
5.2	Perencanaan Ikatan Angin Atas.....	86
5.2.1	Hasil Analisa.....	86
5.2.2	Kontrol Penampang	87
5.2.3	Sambungan Ikatan Angin Atas	91
5.3	Perencanaan Ikatan Angin Bawah	93
5.3.1	Hasil Analisa.....	94
5.3.2	Kontrol Penampang	94
5.3.3	Sambungan Ikatan Angin Bawah	102
5.4	Perencanaan Ikatan Silang.....	105
5.4.1	Hasil Analisa.....	105
5.4.2	Kontrol Penampang	106
5.4.3	Sambungan Ikatan Silang	110
5.5	Perencanaan Batang Penggantung	112
5.5.1	Pembebanan.....	113
5.5.2	Kontrol Kekuatan Batang Penggantung	115
5.5.3	Sambungan Penggantung	116
5.6	Analisa Struktur Busur	118
5.7	Kontrol Struktur Busur Atas.....	119
5.7.1	Kontrol Penampang	119

5.7.2	Sambungan Busur Atas	124
5.8	Kontrol Struktur Busur Bawah.....	127
5.8.1	Kontrol Penampang.....	127
5.8.2	Sambungan Busur Bawah.....	131
5.9	Kontrol Struktur Busur Diagonal	134
5.9.1	Kontrol Penampang.....	134
5.9.2	Sambungan Busur Diagonal.....	135
5.10	Kontrol Struktur Busur Vertikal.....	136
5.10.1	Kontrol Penampang.....	136
5.10.2	Sambungan Busur Vertikal.....	138
5.11	Kontrol Struktur Main Girder.....	139
5.11.1	Kontrol Penampang	139
5.11.2	Sambungan Main Girder	144
5.12	Sambungan Tipe A.....	147
5.13	Perencanaan Portal Akhir.....	149
5.13.1	Perencanaan Balok Portal Akhir	149
5.13.2	Perencanaan Kolom Portal Akhir.....	153
5.13.3	Sambungan Balok Portal Akhir.....	158
5.13.4	Sambungan Kolom Portal Akhir	160
5.14	Kontrol Lendutan	162
5.15	Kontrol Accidental Load	163
5.15.1	Hasil Analisa Struktur	163
5.15.2	Kontrol Penampang Busur	164
5.16	Desain Perletakan.....	181
BAB VI STAGING ANALYSIS		187

6.1	Metode Pelaksanaan	187
6.2	Data Perencanaan Kabel	190
6.3	Kontrol Segmen Kritis.....	191
BAB VII PENUTUP		193
7.1	Kesimpulan.....	193
7.2	Saran	194
DAFTAR PUSTAKA.....		195
LAMPIRAN		197
BIODATA PENULIS.....		267

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jembatan Ponululu.....	6
Gambar 2.2 Jembatan Teluk Masjid.....	6
Gambar 2.3 Jembatan Tayan	7
Gambar 2.4 Deck Arch Bridge.....	8
Gambar 2.5 Spandrel dengan Pengaku.....	9
Gambar 2.6 Rigid Frame Arch.....	9
Gambar 2.7 Through Arch Bridge	10
Gambar 2.8 Half Through Arch	11
Gambar 2.9 Cantilever Arch	11
Gambar 2.10 (a) Struktur 3 Sendi, (b) Struktur 2 Sendi, (c) Struktur jepit.....	12
Gambar 2.11 (a) Batang Paralel, (b) Batang Paralel Terbuka, (c) Batang Non-paralel, (d) Batang Tunggal	13
Gambar 2.12 (a) Hanger vertikal, (b) Hanger diagonal.....	14
Gambar 2.13 Jenis-Jenis Las Tumpul	15
Gambar 2.14 Jenis-Jenis Las Sudut.....	15
Gambar 2.15 Kombinasi Las Baji dan Pasak dengan Las Sudut.	16
Gambar 2.16 Sambungan Baut.....	17
Gambar 2.17 (a).Pot Bearing Tipe Fixed, (b) Notasi Tipe Fixed	17
Gambar 2.18 (a) Pot Bearing Tipe Unidirectional, (b) Notasi Tipe Unidirectional.....	18
Gambar 2.19 (a) Pot Bearing Tipe Multidirectional, (b) Notasi Tipe Multidirectional.....	18
Gambar 2.20 Sistem Kantilever Sebagian.....	19
Gambar 2.21 Sistem Kantilever Penuh	20

Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan.....	21
Gambar 3.2 Foto Satelit Lokasi Jembatan Sembayat	22
Gambar 3.3 Eksisting Jembatan Sembayat Baru II	23
Gambar 3.4 Preliminary Design Jembatan Sembayat Baru II	24
Gambar 3.5 Pembebanan Lajur “D”	26
Gambar 3.6 Pembebanan Truk “T” (500 kN).....	27
Gambar 3.7 Faktor beban dinamis untuk beban lajur “D”	28
Gambar 3.9 Peta Percepatan Puncak di batuan dasar (PGA)	32
Gambar 3.10 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik di batuan dasar.....	33
Gambar 3.11 Peta Respons Spektra Percepatan 1 detik di batuan dasar.....	33
Gambar 3.12 Lantai Kendaraan.....	35
Gambar 3.13 Gelagar Memanjang.....	35
Gambar 3.14 Pemodelan Gelagar Memanjang.....	36
Gambar 3.15 Pembebanan Gelagar Sebelum Komposit.....	36
Gambar 3.16 Pembebanan Gelagar Setelah Komposit.....	36
Gambar 3.17 Pembebanan UDL dan KEL	37
Gambar 3.18 Pembebanan Truk	37
Gambar 3.19 Pemodelan Pembebanan Geser UDL dan KEL	37
Gambar 3.20 Konfigurasi Perletakan Pot Bearing	41
Gambar 3.21 Metode Pelaksanaan Segmental.....	42
Gambar 3.22 Pemasangan Closure	42
Gambar 4.1 Pelat Lantai Kendaraan.....	43
Gambar 4.2 Distribusi Momen Balok Menerus.....	44
Gambar 4.3 Gambar Penulangan Pelat.....	46

Gambar 4.4 Bidang Penyebaran Tekanan Roda.....	47
Gambar 4.5 Pipa Sandaran Railing	48
Gambar 4.6 Pembebanan Trotoar.....	52
Gambar 4.7 Pemodelan Gelagar Memanjang.....	55
Gambar 4.8 Pemodelan Beban Hidup UDL dan KEL	56
Gambar 4.9 Pemodelan Beban Hidup Truk	57
Gambar 4.10 Penampang Gelagar Memanjang.....	57
Gambar 4.11 Pemodelan Beban Geser dan Garis Pengaruh	59
Gambar 4.12 Sambungan Gelagar Memanjang Dengan Gelagar Melintang	62
Gambar 4.13 Pemodelan Gelagar Melintang	62
Gambar 4.14 Pembebanan Setelah Komposit	64
Gambar 4.15 Pembebanan UDL dan KEL.....	65
Gambar 4.16 Pembebanan Truk Kondisi 1	65
Gambar 4.17 Bidang Momen Akibat Beban Truk Kondisi 1	66
Gambar 4.18 Pembebanan Truk Kondisi 2	66
Gambar 4.19 Bidang Momen Akibat Beban Truk Kondisi 2.....	66
Gambar 4.20 Pemodelan Gelagar Komposit	67
Gambar 4.21 Jarak Garis Netral Gelagar Komposit.....	68
Gambar 4.22 Pemodelan Beban Geser Sebelum Komposit	68
Gambar 4.23 Pemodelan Beban Geser Setelah Komposit	69
Gambar 4.24 Pemodelan Beban Geser Beban Hidup.....	69
Gambar 4.25 Transformasi Pelat Beton	70
Gambar 4.26 Pemasangan Shear Connector	72
Gambar 4.27 Sambungan Gelagar Melintang Dengan Main Girder	73

Gambar 5.1 Potongan Memanjang Jembatan Sembayat Baru II.	75
Gambar 5.2 Pembebanan UDL dan KEL	77
Gambar 5.3 Penentuan Titik Buhul	78
Gambar 5.4 Grafik Respon Spektrum Gempa	81
Gambar 5.5 Reaksi Vertikal Jembatan	81
Gambar 5.6 Jembatan Arah Longitudinal (X)	82
Gambar 5.7 Input Respon Spektum Arah X	83
Gambar 5.8 Reaksi Gaya Geser Arah X	83
Gambar 5.9 Jembatan Arah Transversal (Y)	84
Gambar 5.10 Input Respon Spektum Arah Y	84
Gambar 5.11 Reaksi Gaya Geser Arah Y	85
Gambar 5.12 Ikatan Angin Atas	86
Gambar 5.13 Sambungan Ikatan Angin Atas	93
Gambar 5.14 Ikatan Angin Bawah	93
Gambar 5.15 Sambungan Ikatan Angin Bawah (Pipa).....	103
Gambar 5.16 Sambungan Ikatan Angin Bawah (Box)	105
Gambar 5.17 Ikatan Silang	105
Gambar 5.18 Sambungan Ikatan Silang	112
Gambar 5.19 Struktur Pemikul Utama	112
Gambar 5.20 Pembebanan UDL dan KEL	115
Gambar 5.21 Tension Rod Macalloy 520, Carbon steel.....	115
Gambar 5.22 Sambungan Batang Penggantung	118
Gambar 5.23 Pemodelan Jembatan MIDAS Civil 2011.....	118
Gambar 5.24 Contoh Hasil Gaya Batang	119
Gambar 5.25 Contoh Garis Pengaruh Akibat Beban Berjalan ..	119

Gambar 5.26 Penampang Box Busur Atas	119
Gambar 5.27 Sambungan Busur Atas	126
Gambar 5.28 Penampang Box Busur Bawah	127
Gambar 5.29 Sambungan Busur Bawah.....	134
Gambar 5.30 Penampang WF Batang Diagonal.....	134
Gambar 5.31 Sambungan Busur Diagonal	136
Gambar 5.32 Penampang WF Batang Vertikal	137
Gambar 5.33 Sambungan Busur Vertikal.....	139
Gambar 5.34 Penampang Box Main Girder	140
Gambar 5.35 Sambungan Main Girder	147
Gambar 5.36 Sambungan Tipe A	147
Gambar 5.37 Proyeksi Potongan Sambungan	148
Gambar 5.38 Portal Akhir	149
Gambar 5.39 Balok Portal Akhir.....	149
Gambar 5.40 Gaya Batang Kolom Portal.....	154
Gambar 5.41 Sambungan Portal Akhir	160
Gambar 5.42 Lendutan Jembatan Akibat Beban Layan.....	163
Gambar 5.43 Kegagalan Struktur Hanger	163
Gambar 5.44 Penampang Box Busur Atas	164
Gambar 5.45 Penampang Box Busur Bawah	169
Gambar 5.46 Penampang WF Batang Diagonal.....	173
Gambar 5.47 Penampang WF Batang Vertikal	174
Gambar 5.48 Penampang Box Main Girder	176
Gambar 5.49 Perletakan Jembatan	181
Gambar 5.50 Bearing Tipe Fixed	181

Gambar 5.51 Bearing Tipe Unilateral	182
Gambar 5.52 Bearing Tipe Unilateral	183
Gambar 5.53 Bearing Tipe Free	184
Gambar 6.1 Stage 1	187
Gambar 6.2 Stage 2	188
Gambar 6.3 Stage 3	188
Gambar 6.4 Stage 4	188
Gambar 6.5 Stage 5	189
Gambar 6.6 Stage 6	189
Gambar 6.7 Stage 7	189
Gambar 6.8 Stage 8	190
Gambar 6.9 Stage 9	190

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe-Tipe Baut	16
Tabel 3.1 Berat isi untuk beban mati.....	25
Tabel 3.2 Faktor Beban Mati.....	25
Tabel 3.3 Faktor Beban Lajur “D”	27
Tabel 3.4. Faktor Beban Truk “T”	27
Tabel 3.5 Tabel Variasi Temperatur.....	29
Tabel 3.6 Koefisien Perpanjangan dan Modulus Elastisitas.....	30
Tabel 3.7 Nilai V_o dan Z_o Pada Berbagai Kondisi Permukaan Hulu.....	31
Tabel 3.8 Tekanan Angin Dasar.....	31
Tabel 3.9 Tekanan Angin Dasar.....	31
Tabel 3.10 Nilai R untuk Bangunan Bawah.....	34
Tabel 3.11 Nilai R untuk hubungan antara elemen struktur.....	34
Tabel 5.1 Perhitungan Beban Angin Terhadap Struktur	78
Tabel 5.2 Kombinasi Pembebanan	85
Tabel 5.3 Beban Angin Pada Ikatan Angin Atas.....	86
Tabel 5.4 Tabel Gaya Batang Ikatan Angin Atas.....	87
Tabel 5.5 Beban Angin Pada Ikatan Angin Bawah.....	93
Tabel 5.6 Tabel Gaya Batang Ikatan Angin Atas.....	94
Tabel 5.7 Tabel Gaya Batang Ikatan Silang.....	106
Tabel 5.8 Tabel Panjang Batang Penggantung.....	113
Tabel 5.9 Hasil Analisa Gaya Batang.....	118
Tabel 5.10 Gaya Batang Balok Portal Akhir.....	150
Tabel 5.11 Hasil Analisa Gaya Batang	164

Tabel 5.12 Tabel Spesifikasi Bearing Tipe Fixed	182
Tabel 5.13 Tabel Spesifikasi Bearing Tipe Unilateral.....	183
Tabel 5.14 Tabel Spesifikasi Bearing Tipe Unilateral.....	184
Tabel 5.15 Tabel Spesifikasi Bearing Tipe Free	185
Tabel 6.1 Tabel Perhitungan Kabel	191
Tabel 6.2 Hasil Analisa Segmen Kritis	192
Tabel 7.1 Profil Jembatan.....	193

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi saat ini di jembatan Sembayat, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur sedang dilakukan pembangunan jembatan sembayat II yang merupakan infrastruktur tambahan guna mengakomodasi pertumbuhan kendaraan yang semakin hari semakin padat di jalur alternatif pantura tersebut. Pembangunan jembatan sembayat II menggunakan konstruksi gabungan antara jembatan gelagar beton sepanjang 354 m dan jembatan pelengkung (busur) beton dibentang terpanjangnya yaitu 93 m.

Jembatan busur banyak dipergunakan sebagai jembatan bentang panjang karena bentuk busur pada struktur pemikul utama mampu mengurangi nilai momen lapangan yang terjadi akibat beban luar. Sehingga dengan bentang yang sama, dimensi jembatan busur dapat lebih kecil daripada jembatan girder. (Soegihardjo, 2016)

Pertimbangan menggunakan jembatan pelengkung memang tepat, namun bentang maksimum yang dapat dijangkau oleh jembatan pelengkung dengan material beton tidaklah sejauh jembatan pelengkung dengan material baja, baik rangka ataupun *plate girder*. Jembatan pelengkung dari beton memiliki bentang maksimum 420 m, sedangkan jembatan pelengkung dari baja memiliki bentang maksimum 550 m.

Bentuk jembatan busur juga efektif untuk diterapkan pada daerah-daerah yang memiliki karakteristik tanah yang kurang bagus, karena gaya horisontal yang bekerja pada batang tarik mampu mengatasi gaya-gaya luar yang bekerja pada struktur bangunan bawah. Tanah yang teren-

dam air atau memiliki muka air yang cukup tinggi merupakan daerah yang cocok untuk menggunakan jembatan busur.

Untuk itu, tugas akhir ini dibuat untuk memodifikasi jembatan sembayat II yang mulanya menggunakan jembatan busur dari beton, dirubah menjadi jembatan busur dengan rangka baja.

Dari hasil akhir, diharapkan jembatan busur ini mampu bertahan sesuai dengan umur konstruksi yang diharapkan, serta merupakan jawaban untuk mengurangi volume lalu lintas yang berada di wilayah Kabupaten Gresik.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, dalam perencanaan struktur jembatan Sembayat permasalahan yang ditinjau adalah:

Permasalahan Utama

1. Bagaimana merencanakan jembatan busur yang ekonomis dan efisien?

Detail Permasalahan

1. Bagaimana bentuk denah dan tampak jembatan?
2. Bagaimana permodelan dan analisa struktur jembatan ini?
3. Bagaimana mengontrol jembatan ini akibat beban yang ada?
4. Bagaimana hasil akhir dari perencanaan jembatan?
5. Bagaimana metode pelaksanaan dari jembatan?
6. Bagaimana kondisi jembatan bila terdapat *accidental load*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Tujuan Utama

1. Dapat merencanakan jembatan busur dengan ekonomis dan efisien.

Detail Tujuan

1. Dapat merencanakan denah dan tampak jembatan.
2. Dapat memodelkan dan menganalisa struktur jembatan.
3. Dapat mengontrol desain jembatan akibat beban yang ada.
4. Mengetahui hasil akhir dari perencanaan jembatan.
5. Mengetahui metode pelaksanaan jembatan.
6. Mengetahui kondisi jembatan akibat *accidental load*.

1.4 Batasan Masalah

Mengetahui akan luasnya bidang perencanaan yang timbul dan keterbatasan waktu dalam penyusunan tugas akhir ini, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Perencanaan jembatan ini hanya meninjau struktur saja (tidak menghitung analisa biaya dan manajemen konstruksi).
2. Tidak merencanakan perkerasan jalan di jembatan.
3. Tidak merencanakan substruktur jembatan.
4. Perumusan yang digunakan sesuai dengan literatur yang ada.
5. Hanya meninjau 1 cara metode pelaksanaan.
6. *Accidental load* yang ditinjau hanya 1 kabel penggantungan yang terputus.

1.5 Manfaat Penelitian

Umum:

1. Sebagai referensi dalam mendesain jembatan dengan menggunakan sistem jembatan busur.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain jembatan bagi instansi terkait.

Bagi penulis:

1. Dapat menerapkan ilmu perencanaan jembatan, terutama untuk bentang panjang.
2. Sebagai evaluasi penguasaan ilmu ketekniksipilan terkait desain jembatan selama kuliah.
3. Menambah wawasan dan pengetahuan akan ilmu desain jembatan.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan merupakan prasarana transportasi yang penting, jembatan digunakan oleh manusia untuk menghubungkan wilayah yang satu dengan wilayah yang lain. Manusia mulai menggunakan jembatan sejak zaman purba, dulu pertama kali yang digunakan manusia adalah berupa jembatan alami, seperti pohon tumbang yang melintasi rintangan (jembatan balok sederhana). Lalu jembatan tertua buatan manusia yang tercatat saat ini yaitu Jembatan *Mycenaeen Arkadiko*, jembatan lengkung yang diperkirakan terbuat dari batu sejak 1300 SM.

Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi struktur jembatan terus mengalami kemajuan yang pesat. Pada abad ke-11 sampai dengan 16, jembatan pelengkung masih menjadi desain andalan. Kemudian pada tahun 1776 di Inggris untuk kali pertama jembatan besi dibangun, (Jembatan *Coalbrookdale* yang melintasi Sungai Severn) dengan desain yang berbeda berbentuk setengah lingkaran. Pada abad pertengahan ini jembatan besi yang dibangun pada umumnya masih menggunakan prinsip *arch bridge* (jembatan berbentuk lengkung).

Pada jaman dahulu, jembatan busur (*arch bridge*) selalu dipilih untuk konstruksi jembatan bentang panjang dengan mengambil keuntungan gaya tekan pada struktur lengkungnya. Pemberian lengkung (busur) dimaksudkan untuk mengurangi momen lentur pada jembatan sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien dibandingkan dengan gelagar paralel.

Jembatan busur memiliki bentang ekonomis yang mencapai 300 m (*Soegihardjo, 2016*). maka jembatan ini merupakan tipe jembatan yang umum digunakan untuk menyeberangi sungai-sungai di Indonesia yang pada umumnya memiliki lebar ± 300 m. Terlihat beberapa jembatan di Indonesia yang sudah dibangun menggunakan tipe pelengkung yaitu Jembatan Ponulele di Palu yang membentang diatas Teluk Talise, Jembatan Teluk Masjid di Riau, dan yang terakhir diresmikan di Pontianak yaitu Jembatan Tayan serta masih banyak lagi.



Sumber: www.google.com

Gambar 2.1 Jembatan Ponululu



Sumber: www.google.com

Gambar 2.2 Jembatan Teluk Masjid



Sumber: www.google.com

Gambar 2.3 Jembatan Tayan

Komponen struktur dari sistem jembatan busur telah menjadi sebuah tren dalam desain struktur jembatan bentang panjang. Beban yang bekerja dari lantai kendaraan, disalurkan ke struktur pemikul utama melalui batang penggantung/hanger. Bentuk struktur utama yang melengkung, menjadikan beban yang bekerja hanya mengakibatkan gaya aksial berupa tekan saja, hal ini merupakan keuntungan tersendiri bagi struktur jembatan lengkung, karena dapat mengurangi nilai momen lapangan, dampaknya adalah dengan bentang yang sama, dimensi yang digunakan dalam jembatan busur lebih kecil dibandingkan dengan dimensi bila digunakan struktur jembatan gelagar paralel.

2.2 Bagian Jembatan Busur

Jembatan busur terdiri dari 3 bagian utama, lantai kendaraan (*deck girder*), penggantung (*hanger*), dan batang lengkung (*arch ribs*). Hubungan dari ketiga komponen tersebut dapat menghasilkan jembatan yang kuat, ekonomis dan bernilai estetika yang tinggi. Dalam pemilihan struktur jembatan busur, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan (Soegihardjo, 2016) yaitu :

1. Kondisi tanah dasar
 - Memilih batang tarik
 - Bila kaki busur terendam, bisa dipasang lantai kendaraan ditengah atau dibawah

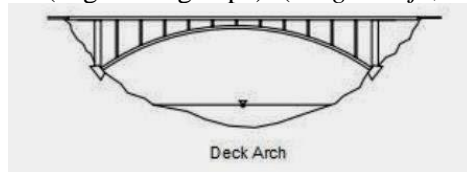
- Bila tanah lunak, bisa dipasang batang tarik
- 2. Besarnya beban
 - Bila beban tidak terlalu berat, dapat digunakan busur dinding penuh atau box
 - Bila beban yang bekerja berat, maka dapat digunakan busur rangka
- 3. Panjang bentang
 - Bentang 60-250 m, digunakan dinding penuh atau rangka
 - Bentang 250-600 m, digunakan rangka
- 4. Estetika
 - Busur dengan penampang tengah lebih kecil, menimbulkan kesan langsing
 - Busur yang berupa dinding penuh, memberikan kesan tenang

2.2.1 Lantai Kendaraan (*Deck Girder*)

Berdasarkan posisi lantai kendaraan, jembatan busur dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Lantai kendaraan atas (*Deck Arch*)

Tipe *deck arch* berarti lantai kendaraan ada dibagian atas dari busur, tipe jembatan ini yang pada awalnya sering digunakan pada struktur busur. Idealnya dibangun untuk melintasi lembah dengan tipikal bebatuan pada dasarnya. (*Wai-Fah Chen and Lian Duan, 2013*). Tipe ini juga merupakan tipe jembatan yang paling stabil bila menerima beban lateral (angin dan gempa). (*Soegihardjo, 2016*)



Sumber: www.google.com

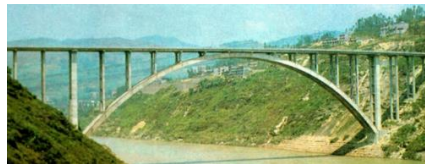
Gambar 2.4 *Deck Arch Bridge*

Jarak antara lantai kendaraan dengan busur disebut spandrel. Pada jembatan busur dahulu, spandrel diisi oleh tanah atau batuan yang disebut dengan spandrel tertutup. Pada saat ini, mulai banyak digunakan spandrel terbuka, yang umumnya digunakan kolom-kolom tinggi yang dihubungkan secara kaku (*fixed*). Fungsi dari spandrel adalah untuk menyalurkan beban dari lantai kendaraan menuju busur lalu diteruskan ke pondasi. Bila terdapat spandrel diagonal, vertikal, dan horisontal, maka dapat disebut juga spandrel dengan pengaku. Bila lantai kendaraan bertemu dengan puncak busur, maka struktur tersebut merupakan busur rangka kaku (*rigid frame arch*)



Sumber: www.google.com

Gambar 2.5 *Spandrel* dengan Pengaku



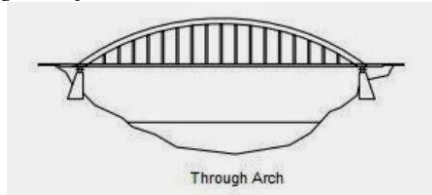
Sumber: www.google.com

Gambar 2.6 *Rigid Frame Arch*

2. Lantai kendaraan bawah (*Through Arch*)

Letak lantai kendaraan pada tipe ini berada di bagian bawah busur, sejajar dengan perletakan dari kaki-kaki busur. Ujung-ujung dari lantai kendaraan disambung dengan ujung-ujung dari busur. Hal tersebut menjadikan lantai kendaraan berperan sebagai

batang tarik (*Tied Beam*) pada struktur jembatan (*Soegihardjo, 2016*).



Sumber: www.google.com

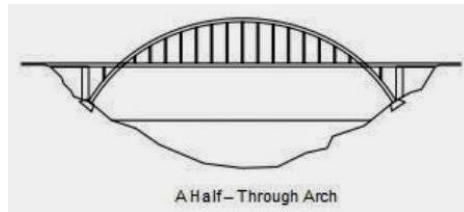
Gambar 2.7 *Through Arch Bridge*

Struktur ini umum dipakai pada daerah-daerah yang memiliki karakteristik tanah yang kurang bagus (*Wai-Fah Chen and Lian Duan, 2013*). Karena beban horisontal yang bekerja dapat dipikul oleh batang tarik tersebut. Pada jembatan *through arch*, beban dari lantai kendaraan ditransfer menuju lengkung busur melalui batang penggantung. Lantai kendaraan dapat berupa pelat girder baja, box girder baja, ataupun girder beton pratekan.

Kekakuan dari lantai kendaraan (*Tie Beam*) berperan dalam menampung besarnya porsi dari beban hidup. Bila *tie beam* lemah, maka struktur busur dapat menjadi semakin besar, karena memikul keseluruhan beban yang bekerja. Sedangkan bila digunakan *tie beam* yang kaku, maka struktur busur dapat menjadi lebih optimal, sehingga dari segi biaya dapat lebih ekonomis.

3. Lantai kendaraan tengah (*Half Through Arch*)

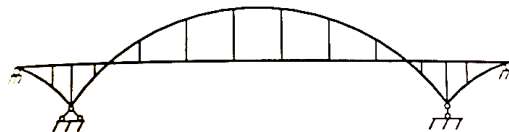
Letak lantai kendaraan pada bentuk struktur ini yaitu diantara puncak dari busur dan kaki-kaki busur.



Sumber: www.google.com

Gambar 2.8 *Half Through Arch*

Struktur dengan lantai kendaraan ditengah, banyak dimodifikasi dengan menambahkan bagian pada sebelum dan sesudah struktur utama. Pada beberapa kasus, ada yang ditambahkan dengan struktur setengah busur dibagian bawah lantai sebagai pengaku dari struktur busur utama (*Cantilever Arch*).



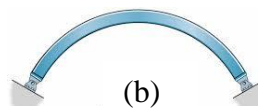
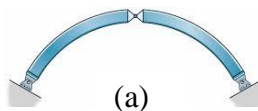
Sumber: *Bridge Engineering Handbook*

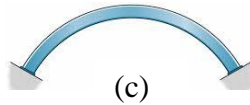
Gambar 2.9 *Cantilever Arch*

2.2.2 Batang Lengkung (*Arch Ribs*)

Batang lengkung dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Struktur 3 sendi
2. Struktur 2 sendi
3. Struktur jepit





Sumber: www.google.com

Gambar 2.10 (a) Struktur 3 Sendi, (b) Struktur 2 Sendi, (c) Struktur jepit

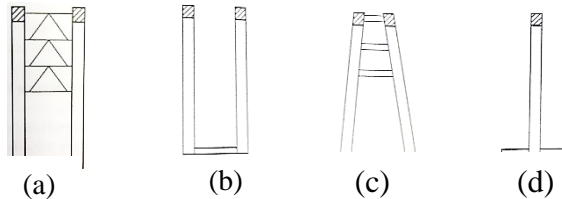
Pada struktur 3 sendi, dimungkinkan untuk terjadi rotasi pada 2 titik di kaki-kaki busur dan 1 titik di puncak busur. Struktur 3 sendi dapat diselesaikan dengan metode statis tertentu. Struktur 2 sendi hanya dimungkinkan untuk terjadi rotasi di kaki-kaki busur saja, struktur merupakan statis tak tentu dengan 2 derajat kebebasan (*Degree of Freedom*). Struktur jepit tidak memungkinkan untuk mengalami rotasi, yang merupakan struktur statis tak tentu dengan 3 derajat kebebasan (*Degree of Freedom*) (Wai-Fah Chen and Lian Duan, 2013).

Batang lengkung pada jembatan cukup sensitif terhadap beban sekunder, seperti penurunan pondasi dan perubahan temperatur. Pada jembatan dengan 3 sendi ataupun 2 sendi, beban-beban tersebut dapat diminimalkan, namun tidak dengan jembatan dengan sistem jepit. Oleh karena itu, jembatan dengan material baja lebih banyak didesain dengan menggunakan sistem sendi, karena dapat membuat jembatan lebih fleksibel.

Material dari struktur lengkung dapat terbuat dari kayu, baja, dan beton. Jembatan busur modern hanya menggunakan material baja dan beton, karena dilihat dari tingkat kekuatan dan durabilitasnya. Khusus material baja, batang lengkung dapat tersusun dari pelat girder ataupun rangka batang tergantung dari bentang dan metode pelaksanaannya.

Batang lengkung pada suatu jembatan busur bila dilihat dari arah transversal pada umumnya terdiri dari 2

busur paralel yang diletakkan dimasing-masing sisi jembatan, namun pada kenyataannya, banyak jembatan modern yang memodifikasi dari bentuk tersebut.



Sumber: *Bridge Engineering Handbook*

Gambar 2.11 (a) Batang Paralel, (b) Batang Paralel Terbuka, (c) Batang Non-paralel, (d) Batang Tunggal

Tipe paralel merupakan tipe yang paling umum digunakan saat ini, dimana dari segi pelaksanaan dan analisa lebih mudah dibanding yang lain. Tipe paralel terbuka tanpa pengaku lateral dimungkinkan bila tinggi busur dari kaki-kaki tidak terlalu besar, sehingga beban lateral yang menempa busur tidak terlalu besar. Tipe non paralel digunakan lebih kepada segi estetika, tetapi mampu juga meningkatkan kekakuan lateral serta mengurangi jumlah pengaku. Pada tipe batang tunggal, lantai kendaraan terletak secara kantilever dikedua sisinya.

Tinggi dari batang lengkung/tinggi busur (*focus*), dapat direncanakan sebesar:

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana: f = Tinggi busur (m)

L = Panjang jembatan (m)

2.2.3 Batang Penggantung (*Hanger*)

Berfungsi sebagai penyalur beban dari lantai kendaraan ke struktur pemikul utama. Umumnya batang penggantung menggunakan *wire*, baja profil bulat, ataupun baja profil rolled section (*Wai-Fah Chen and Lian Duan, 2013*).

Konfigurasi batang penggantung yang umum adalah vertikal, namun terdapat juga yang berbentuk seperti rangka baja diagonal.

Pemasangan *hanger* diagonal memiliki banyak keuntungan. Tipe ini menghasilkan defleksi/lendutan yang kecil serta mereduksi momen lentur pada batang lengkung dan rantai kendaraan. Selain itu, bentuk diagonal juga dapat menahan tekuk lateral dari batang lengkung, serta dapat membuat dimensi dari rantai kendaraan dan batang lentur menjadi lebih langsing.



Gambar 2.12 (a) *Hanger* vertikal, (b) *Hanger* diagonal

2.3 Sambungan

Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama (biasanya diujung batang) dengan beberapa cara. Salah satu cara yang digunakan adalah pengelasan, cara lain ialah menggunakan alat penyambung seperti paku keling dan baut.

2.3.1 Pengelasan

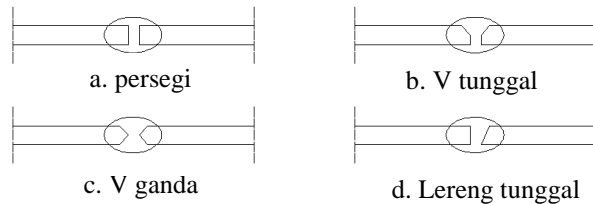
Proses pengelasan merupakan proses penyambungan dua potong logam dengan pemanasan sampai keadaan plastis atau cair, dengan atau tanpa tekanan.

Jenis – jenis las:

1. Las Tumpul

Las tumpul (*groove weld*) terutama dipakai untuk menyambung batang struktur yang bertemu dalam satu bidang. Karena las tumpul biasanya ditujukan

untuk menyalurkan semua batang yang disambungnya.



Gambar 2.13 Jenis-Jenis Las Tumpul

2. Las Sudut

Las sudut (*fillet weld*) bersifat ekonomis secara keseluruhan, mudah dibuat, dan mampu beradaptasi, serta merupakan jenis las yang banyak dipakai dibandingkan dengan jenis las dasar yang lain. Las ini umumnya memerlukan lebih sedikit presisi dalam pemasangan karena potongannya saling bertumpukan (*overlap*). Las sudut terutama menguntungkan untuk pengelasan di lapangan, dan untuk menyesuaikan kembali batang atau sambungan yang difabrikasi dengan toleransi tertentu tetapi tidak cocok dengan yang dikehendaki.

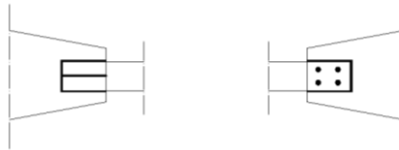


Gambar 2.14 Jenis-Jenis Las Sudut

3. Las Baji dan Pasak

Las baji dan pasak dapat dipakai secara tersen-diriri pada sambungan. Manfaat utama las baji dan pasak ialah menyalurkan gaya geser pada sambungan lewatan bila ukuran sambungan membatasi panjang

yang tersedia untuk las sudut atau las sisi yang lain. Las baji dan pasak juga berguna untuk mencegah terjadinya tekuk pada bagian yang saling bertumpang.



Gambar 2.15 Kombinasi Las Baji dan Pasak dengan Las Sudut

2.3.2 Baut

Pemasangan baut pada struktur baja tidak memerlukan pekerja yang terampil seperti yang dibutuhkan pada pemasangan paku keling atau pada pengelasan. Sambungan dengan menggunakan baut tegangan tinggi, mempunyai kelebihan didalam segi ekonomis dan penampilan bila dibandingkan dengan sambungan yang menggunakan paku keling.

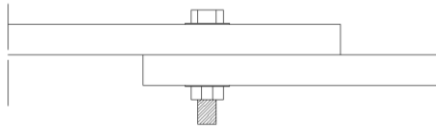
Jenis baut yang umum dipakai dalam konstruksi terbagi 2, yaitu baut mutu normal yang dipakai pada struktur ringan yang menahan beban statis atau untuk menyambung batang-batang sekunder. Jenis kedua yaitu baut mutu tinggi (*High Tension Bolt*), yaitu baut yang dalam pelaksanaan awalnya memerlukan gaya tarik awal yang cukup. Gaya ini akan memberikan friksi sehingga cukup kuat untuk memikul beban yang bekerja. Gaya ini dinamakan *proof load*.

Tabel 2.1 Tipe-Tipe Baut

Tipe Baut	Diameter (mm)	Proof Stress (MPa)	Kuat Tarik Min (MPa)
A 307	6.35 - 10.4	-	60
A 325	12.7 - 25.4	585	825
	28.6 - 38.1	510	725
A 490	12.7 - 38.1	825	1035

Sumber: *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*

Baut mutu normal dipasang kencang tangan. Baut mutu tinggi mula-mula dipasang kencang tangan, dan kem-udian diikuti $\frac{1}{2}$ putaran lagi (*turn-of-the-nut method*). Sambungan baut mutu tinggi dapat didesain seb-agai sambungan tipe friksi (jika dikehendaki tidak ada slip) atau juga sebagai sambungan tipe tumpu. (Agus Setiawan, 2008)



Gambar 2.16 Sambungan Baut

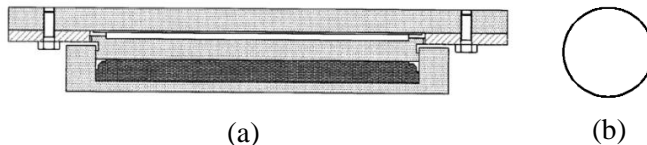
2.4 Perletakan

Perletakan pada jembatan bentang panjang saat ini banyak menggunakan sistem perletakan *pot bearing*. *Pot bearing* adalah perletakan yang mampu menahan beban vertikal lebih besar dibanding dengan perletakan elastomer serta koefisien friksi yang cukup kecil dengan deformasi yang cukup besar. (Yan-Chyuan Shiau, 2008)

Pada saat ini, pot bearing diproduksi menjadi 3 tipe. Tipe fixed, unidirectional, dan multidirectional.

2.4.1 Fixed Pot Bearing

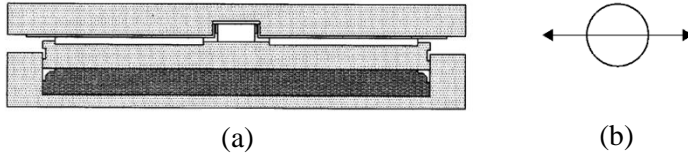
Tipe *fixed* merupakan perletakan yang berperilaku sebagai sendi, dapat menahan beban vertikal dan horisontal.



Sumber: Sétra Pot Bearings Brochure
Gambar 2.17 (a).Pot Bearing Tipe Fixed, (b) Notasi Tipe Fixed

2.4.2 Unidirectional Pot Bearing

Tipe *unidirectional* merupakan perletakan yang dapat menahan gaya vertikal serta gaya horisontal namun hanya dalam 1 arah (tranversal atau longitudinal).

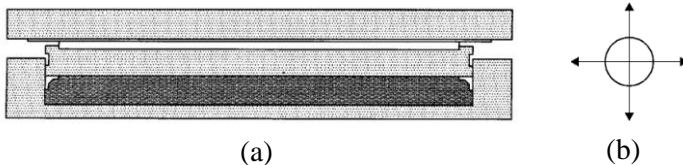


Sumber: *Sétra Pot Bearings Brochure*

Gambar 2.18 (a) Pot Bearing Tipe Unidirectional, (b) Notasi Tipe Unidirectional

2.4.3 Multidirectional Pot Bearing

Tipe *multidirectional* merupakan perletakan yang dapat menahan gaya vertikal, namun dapat bergerak bebas dalam arah horisontal, perilaku tipe ini menyerupai perletakan rol.



Sumber: *Sétra Pot Bearings Brochure*

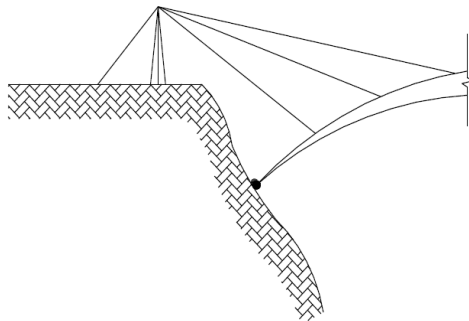
Gambar 2.19 (a) Pot Bearing Tipe Multidirectional, (b) Notasi Tipe Multidirectional

2.5 Metode Pelaksanaan Jembatan Busur

Tahap pelaksanaan jembatan busur umumnya dapat dilakukan dengan metode kantilever. Terdapat 2 jenis metode kantilever yang digunakan yaitu kantilever sebagian dan kantilever penuh. (Soegihardjo, 2016)

2.5.1 Kantilever Sebagian

Prinsip dasar pelaksanaan sistem kantilever yaitu pembangunan separuh busur secara bersamaan (kedua sisi jembatan) dalam segmen pendek, sementara segmen-segmen busur tersebut ditahan oleh kabel penggantung, hingga segmen busur menyatu dibagian puncak (*closure*). Perintis metode kantilever ini ialah *Eugene Freyssinet* yang mendesain 3 jembatan di Venezuela pada tahun 1950-1953. Kelebihan metode kantilever yaitu dapat diterapkan pada kondisi sungai yang aliran arusnya cukup deras, serta tidak memperhatikan kedalaman sungai. Kekurangan sistem kantilever yaitu perlu ketelitian yang cukup tinggi saat pelaksanaan, karena sistem kantilever hampir menyerupai sistem jembatan *cable stayed*.

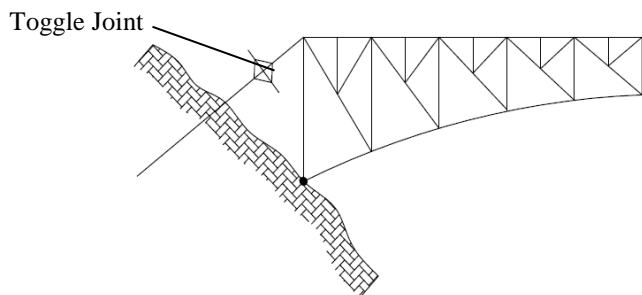


Sumber: Diktat Kuliah Jembatan Bentang Panjang
Gambar 2.20 Sistem Kantilever Sebagian

2.5.2 Kantilever Penuh

Metode kantilever penuh yaitu struktur jembatan ditahan oleh 1 kabel yang diangkur pada bagian tebing sungai. Fungsi dari angkur yaitu sebagai penahan dari berat jembatan busur selama pelaksanaan. Kabel yang diangkur terlebih dahulu diberikan *toggle joint* yang

berfungsi untuk memposisikan kabel agar jembatan tetap dalam elevasi yang telah ditentukan.



Sumber: Diktat Kuliah Jembatan Bentang Panjang

Gambar 2.21 Sistem Kantilever Penuh

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Perencanaan



Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan

3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

3.2.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang dibutuhkan antara lain:

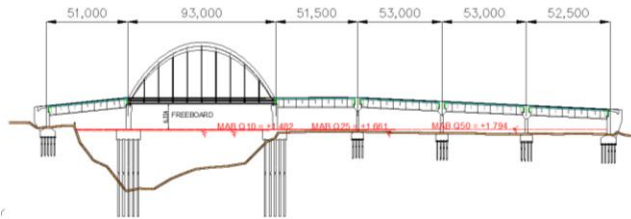
- Data Sungai
 - Nama sungai : Sungai sembayat
 - Lebar sungai : 133 m
 - Elevasi dasar sungai : -15
 - Elevasi M.A.T (50 tahun) : +1.794
 - Data Jembatan
 - Nama dan lokasi : Jembatan Sembayat, Kabupaten Gresik
 - Bentang jembatan : 354 meter, dibagi
93 meter jembatan busur beton
261 meter jembatan beton pratekan
(2x53,5m + 51m + 51,5m + 52,5m)
 - Lebar jembatan : 12 m
- Material utama pada kondisi *existing*:

- Struktur atas berupa gelagar beton
- Struktur jembatan busur terbuat dari beton
- Pondasi tiang pancang



Sumber: www.google.com

Gambar 3.2 Foto Satelit Lokasi Jembatan Sembayat



Gambar 3.3 Eksisting Jembatan Sembayat Baru II

Dalam studi literatur penulis menggunakan beberapa referensi terkait, berupa jurnal, diktat kuliah, buku acuan, peraturan, maupun artikel dari internet.

3.2.2 Studi Literatur

Literatur yang digunakan:

1. Peraturan pembebanan jembatan SNI 1725-2016
2. *Bridge Management System* (BMS 1992)
3. Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Agus Setiawan)
4. Peraturan untuk bangunan baja struktural SNI 1729-2015
5. Diktat Kuliah Jembatan Bentang Panjang (Hidayat Soegihardjo)
6. *Bridge Engineering Handbook* (Wai-Fah Chen)

3.3 Preliminary Desain

Rencana modifikasi jembatan

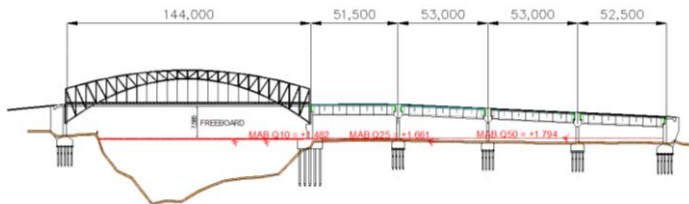
Tipe Jembatan : Jembatan busur rangka baja

Panjang jembatan : 354 meter, dibagi menjadi

144 meter jembatan busur
rangka baja

210 meter jembatan beton
pratekan
(51,5m+53m+53m+52,5m)

Tinggi fokus (busur)	$: \frac{1}{6} - \frac{f}{L} - \frac{1}{5}$
	: 26 meter
Lebar jembatan	$: \frac{b}{L} \geq \frac{1}{20}$
	: 12 meter
Tinggi tampang	$: \frac{1}{40} - \frac{t}{L} - \frac{1}{25}$
	: 5 meter
Panjang segmen	: 6 meter
Struktur utama	: Baja BJ-55
Lebar lantai kendaraan	: 9 meter
Lebar trotoar	: 3 meter
Tinggi ruang bebas	: 5,3 meter



Gambar 3.4 Preliminary Design Jembatan Sembayat Baru II

3.4 Pembebanan Jembatan

Pembebanan jembatan diperlukan untuk menganalisa beban-beban yang bekerja pada jembatan, beban selama proyek konstruksi dan beban layan jembatan. Hasil akhir dari pembebanan jembatan yaitu didapat kebutuhan dimensi dari struktur jembatan dan kekuatan profilnya.

3.4.1 Beban mati

1. Berat sendiri

Berat sendiri merupakan berat dari elemen struktur ditambah elemen non struktural yang besarnya dianggap tetap. Berikut merupakan berat isi dan kerapatan massa dari material yang umumnya berada pada jembatan, berdasarkan SNI 1725-2016 Ps. 7.1.

Tabel 3.1 Berat isi untuk beban mati

Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
Aspal Beton	22.0	2245
Beton $f'c < 35$ MPa	22.0-25.0	2320
$35 < f'c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
Baja	78.5	7850

Sumber: SNI 1725-2016

2. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan mungkin besarnya berubah sesuai umur jembatan.

Dalam Perhitungan, beban mati harus dikalikan dengan faktor.

Tabel 3.2 Faktor Beban Mati

Jenis material	Faktor beban		
	K^{s}_{MS}	K^{u}_{MS}	
		Normal	Terkurangi
Baja, Aluminium	1,0	1,1	0,9
Beton pracetak	1,0	1,2	0.85
Beton cor setempat	1,0	1,3	0.75
Kayu	1,0	1,4	0,70

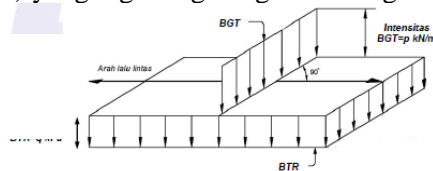
Sumber: SNI 1725-2016

3.4.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas terdiri dari beban lajur “D” dan beban truck “T”. Beban lajur “D” bekerja disepanjang jembatan dan selebar jembatan. Jumlah totalnya tergantung dari jumlah lajur dari jembatan itu sendiri. Beban truck “T” merupakan satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as memiliki 2 bidang kontak yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda terhadap lantai kendaraan.

1. Beban lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (UDL) yang digabung dengan beban garis (KEL).



Sumber: SNI 1725-2016

Gambar 3.5 Pembebanan Lajur “D”

Besarnya nilai beban terbagi rata (UDL) tergantung panjang bentangnya, seperti berikut :

- $L \leq 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \text{ kPa}$
- $L > 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$

Dimana : q = beban terbagi merata

L = Panjang total jembatan (meter)

Beban garis harus ditempatkan tegak lurus dari arah melintang jembatan. Besarnya nilai beban garis (KEL) yaitu :

$$p = 49,0 \text{ kN/m}$$

Dalam perhitungan, beban lajur “D” harus dikalikan dengan faktor beban.

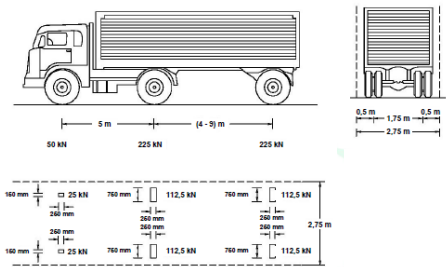
Tabel 3.3 Faktor Beban Lajur “D”

Jembatan	Faktor beban	
	$K^{s_{TD}}$	$K^{U_{TD}}$
Beton	1,0	1,8
Boks Girder Baja	1,0	2,0

Sumber: SNI 1725-2016

2. Beban truk “T”

Pembebanan truk terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan seperti gambar dibawah ini. Berat dari masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah antara 4,0 m – 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Sumber: RSNI T-02-2005

Gambar 3.6 Pembebanan Truk “T” (500 kN)

Dalam perhitungan, beban truk “T” harus dikalikan dengan faktor beban.

Tabel 3.4. Faktor Beban Truk “T”

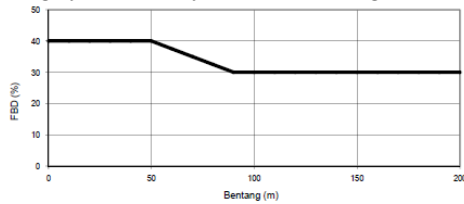
Jembatan	Faktor beban	
	$K^{s_{TD}}$	$K^{U_{TD}}$
Beton	1,0	1,8
Boks Girder Baja	1,0	2,0

Sumber: SNI 1725-2016

3. Faktor Beban Dinamis

Merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz – 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Nilai FBD pada beban lajur “D” tergantung bentangnya dan dinyatakan dalam grafik.



Sumber: SNI 1725-2016

Gambar 3.7 Faktor beban dinamis untuk beban lajur “D”

Nilai FBD untuk beban truk dinyatakan 30%, atau 0,3.

4. Beban Rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain, atau
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata

Gaya rem tersebut ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini bekerja secara horisontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

5. Beban Pejalan Kaki

Komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur.

3.4.3 Beban aksi lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh angin, temperatur, gempa, dan penyebab lainnya.

1. Beban Temperatur

Menurut SNI 1725-2016, besarnya variasi beban akibat temperatur ditetapkan sebagai berikut.

Tabel 3.5 Tabel Variasi Temperatur

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Minimum	Temperatur Maksimum
Lantai beton diatas gelagar atau boks beton	15 ⁰ C	40 ⁰ C
Lantai beton diatas gelagar, boks atau rangka baja	15 ⁰ C	40 ⁰ C
Lantai pelat baja diatas gelagar, boks, atau rangka baja	15 ⁰ C	45 ⁰ C
Catatan : Temperatur minimum bisa dikurangi 5 ⁰ C untuk lokasi diatas 500 mdpl		

Sumber: SNI 1725-2016

Besarnya pergerakan dan gaya yang terjadi akibat beban temperatur tergantung dari koefisien perpanjangan dan modulus elastisitas dari material yang dipakai pada jembatan, seperti ditetapkan pada tabel berikut.

Tabel 3.6 Koefisien Perpanjangan dan Modulus Elastisitas

Bahan	Koefisien perpanjangan	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	200.000
Beton :		
Kuat tekan <30 MPa	10×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	25.000
Kuat tekan >30 MPa	11×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	34.000
Alumunium	24×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	70.000

Sumber: SNI 1725-2016

2. Beban Angin

a. Tekanan angin horisontal

Menurut SNI 1725-2016 Pasal 9.6.1. Penentuan besarnya beban angin adalah:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Dimana:

P_D = Tekanan angin rencana (MPa)

P_B = Tekanan angin dasar berdasarkan tabel 29
SNI 1725-2016 Pasal 9.6.1.1

V_{DZ} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (km/jam)

V_B = Kecepatan angin rencana, 90-126 km/jam pada elevasi 1000 mm

Nilai V_{DZ} didapat dari persamaan:

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

Dimana:

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10000mm diatas permukaan tanah, atau dapat diambil $V_{10}=V_B$

V_0 = Kecepatan gesekan angin, tabel 28

Z_0 = Panjang gesekan di hulu jembatan, tabel 28

Z = Elevasi struktur yang diukur dari permukaan tanah

Tabel 3.7 Nilai V_0 dan Z_0 Pada Berbagai Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

Sumber: SNI 1725-2016

Tabel 3.8 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, kolom, pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Sumber: SNI 1725-2016

b. Beban angin pada kendaraan

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 9.6.1.2. Besarnya beban angin pada kendaraan sebesar 1,46 N/mm dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.

Tabel 3.9 Tekanan Angin Dasar

Sudut (derajat)	Komponen Tegak Lurus (N/mm)	Komponen Sejajar (N/mm)
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sumber: SNI 1725-2016

3. Beban gempa

Jembatan direncanakan dengan kemungkinan gempa terlampaui adalah 7% dalam 75 tahun.

Penentuan gaya gempa berdasarkan RSNI 03-2833-201X adalah:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times Wt \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana:

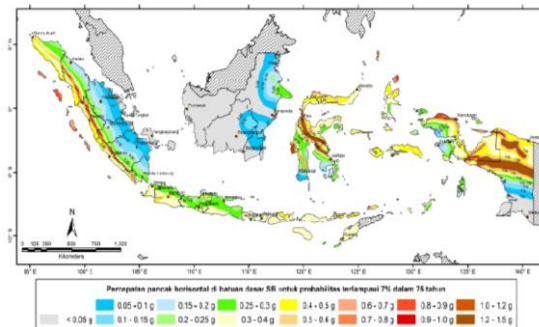
E_Q = Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = Koefisien respons gempa elastik pada mode getar ke-m

R = Faktor modifikasi respons

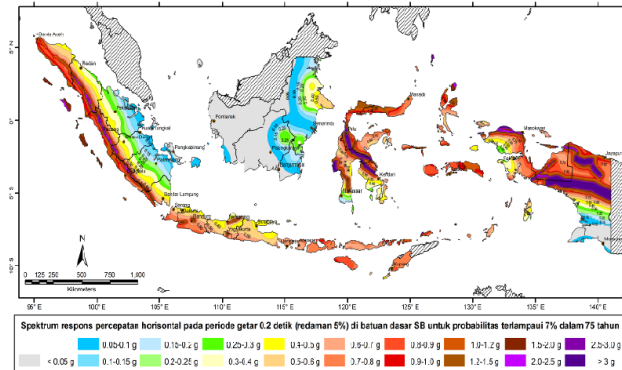
Wt = Berat total struktur (beban mati + beban hidup) (kN)

Perhitungan C_{sm} ditentukan berdasarkan wilayah jembatan berada.



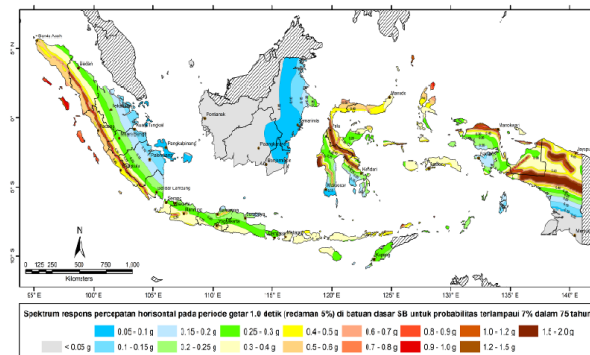
Sumber: RSNI 03-2833-201X

Gambar 3.9 Peta Percepatan Puncak di batuan dasar (PGA)



Sumber: RSNI 03-2833-201X

Gambar 3.10 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik di batuan dasar



Sumber: RSNI 03-2833-201X

Gambar 3.11 Peta Respons Spektra Percepatan 1 detik di batuan dasar

Nilai R ditentukan berdasarkan klasifikasi operasional jembatan tersebut. Nilai R dibedakan berdasarkan bangunan bawah dan berdasarkan hubungan antara elemen struktur. Sesuai dengan tabel 3.12.

Tabel 3.10 Nilai R untuk Bangunan Bawah

Bangunan Bawah	Klasifikasi Operasional		
	Sangat Penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang Vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang Miring	1,5	1,5	2,0
Kolom Tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang Baja dan Komposit			
Tiang Vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang Miring	1,5	2,0	3,0
Kolom Majemuk	1,5	3,5	5,0

Sumber: RSNI 03-2833-201X

Tabel 3.11 Nilai R untuk hubungan antara elemen struktur

Hubungan Elemen Struktur	Semua Klasifikasi Operasional
Bangunan Atas dan Kepala Jembatan	0,8
Sambungan muai pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan pondasi	1,0

Sumber: RSNI 03-2833-201X

Waktu dasar getaran jembatan (Periode) yang digunakan untuk menghitung geser dasar harus dihitung dari analisa yang meninjau seluruh elemen bangunan yang memberikan kekakuan. Perhitungan periode sederhana dapat memakai rumus:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \dots\dots\dots(3.3)$$

T = Periode (detik)

m = massa bangunan

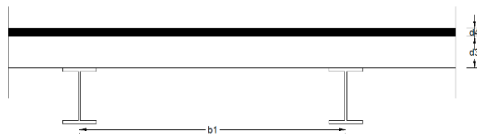
k = kekakuan

3.5 Perencanaan Bangunan Atas

Bangunan atas dihitung berdasarkan pembebanan yang ada, dimulai dari:

3.5.1 Lantai kendaraan

Penentuan tebal minimum pelat lantai.



Gambar 3.12 Lantai Kendaraan

Dipilih nilai terbesar dari kedua nilai berikut:

$$\begin{aligned} ts &\geq 200 \text{ mm} \\ ts &\geq 100 + 40 b1 \end{aligned}$$

Perhitungan beban pada lantai kendaraan.

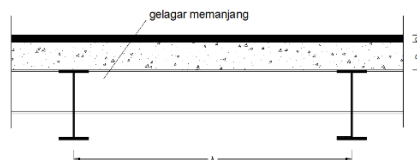
1. Beban mati

- Aspal = $d4 \times \gamma \text{ aspal} \times K^uMS$
- Pelat Beton = $d3 \times \gamma \text{ beton} \times K^uMS$

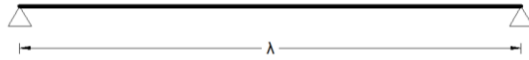
2. Beban hidup

- Beban truk (T) = 112,5 kN
- $T = (1+DLA) \times 112,5 \times K^uTT$

3.5.2 Gelagar memanjang



Gambar 3.13 Gelagar Memanjang

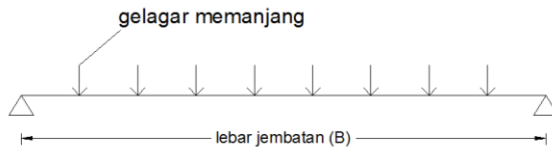


Gambar 3.14 Pemodelan Gelagar Memanjang

1. Beban mati
 - Aspal = $d_4 \times \gamma_{\text{aspal}} \times K^uMS$
 - Pelat Beton = $d_3 \times \gamma_{\text{beton}} \times K^uMS$
 - Berat sendiri = $W_{\text{profil}} \times K^uMS$
 - Bekisting = $0,5 \text{ ton/m}^2 \times b_1 \times K^uMS$
2. Beban hidup
 - UDL = $9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \times b_1 \times K^uTD$
 - KEL = $49 \text{ kN/m} \times b_1 \times (1+DLA) \times K^uTD$
 - Truk = $112,5 \text{ kN} \times (1+DLA) \times K^uTD$

3.5.3 Gelagar melintang

1. Beban mati sebelum komposit
 - Gel. Memanjang = $(W_{\text{profil}} \times \lambda / b_1) \times K^uMS$
 - Gel. Melintang = $W_{\text{profil}} \times K^uMS$
 - Pelat beton = $d_3 \times \gamma_{\text{beton}} \times K^uMS$
 - Bekisting = $0,5 \text{ ton/m}^2 \times b_1 \times K^uMS$



Gambar 3.15 Pembebanan Gelagar Sebelum Komposit

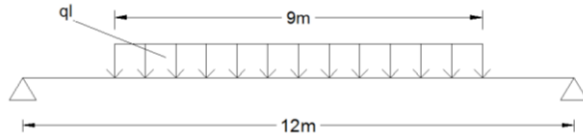
2. Beban mati setelah komposit
 - Aspal = $d_4 \times \gamma_{\text{aspal}} \times K^uMS$
 - Kerb = $\text{tebal} \times \gamma_{\text{aspal}} \times K^uMS$



Gambar 3.16 Pembebanan Gelagar Setelah Komposit

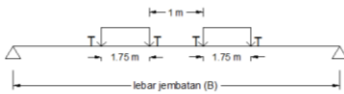
3. Beban hidup

- $UDL = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \times b1 \times K^{uTD}$
- $KEL = 49 \text{ kN/m} \times b1 \times (1+DLA) \times K^{uTD}$



Gambar 3.17 Pembebanan UDL dan KEL

- $\text{Truk} = 112,5 \text{ kN} \times (1+DLA) \times K^{uTD}$



a. Model 1



b. Model 2

Gambar 3.18 Pembebanan Truk

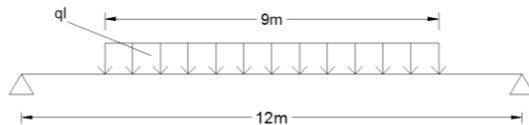
3.5.4 Struktur Pemikul Utama

1. Beban mati

- Berat sendiri = $W \text{ profil} \times B \times \frac{1}{2} \times K^{uMS}$
- Aspal = $d4 \times \gamma \text{ aspal} \times K^{uMS}$
- Pelat Beton = $d3 \times \gamma \text{ beton} \times K^{uMS}$
- Gel. Memanjang = $W \text{ profil} \times \lambda/b1 \times B \times \frac{1}{2} \times K^{uMS}$
- Gel. Melintang = $W \text{ profil} \times B \times \frac{1}{2} \times K^{uMS}$
- Ikatan angin = $10\% \times q \text{ total}$

2. Beban hidup

- $UDL = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \times b1 \times K^{uTD}$
- $KEL = 49 \text{ kN/m} \times b1 \times (1+DLA) \times K^{uTD}$



Gambar 3.19 Pemodelan Pembebanan Geser UDL dan KEL

3.6 Analisa Struktur dan Penentuan Dimensi

Analisa struktur menggunakan bantuan *software* Midas Civil 2006 untuk mendapatkan gaya dalam dan kebutuhan dimensi profil.

3.7 Kontrol Stabilitas

Kontrol stabilitas diperlukan untuk mengetahui apakah profil yang digunakan telah mampu menahan gaya-gaya yang terjadi. Kontrol pada gelagar memanjang dan melintang antara lain kekuatan lentur, lendutan, dan kelangsingan penampang. Untuk rangka batang, kontrol yang dicek adalah kontrol batang tarik dan tekan.

Profil-profil yang digunakan harus memenuhi kontrol-kontrol tersebut, agar profil mampu menahan beban-beban yang bekerja. Kemudian dilanjutkan dengan perencanaan sambungan profil.

3.7.1 Kontrol Gelagar Memanjang dan Melintang

1. Kontrol batang lentur

Komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu kuat dianalisis dengan metode elastis, dan harus memenuhi:

$$M_{ux} \leq \phi M_n \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana:

M_{ux} = Momen lentur terfaktor terhadap sumbu x

$$\phi = 0,90$$

M_n = Kuat nominal dari momen lentur penampang

2. Kontrol lendutan

Lendutan maksimum $1/800 \times L$

3. Kontrol kelangsingan penampang

- Penampang kompak

Untuk penampang yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, kuat lentur penampang adalah:

$$M_n = M_p \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana:

M_p = Momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis.

- Penampang tidak kompak

Untuk penampang yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, kuat lentur penampang adalah:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dimana:

M_r = Momen batas tekuk, M_{cr} , jika $\lambda = \lambda_r$

λ = Parameter kelangsingan

λ_r = Batas maksimum parameter kelangsingan untuk penampang tidak kompak

λ_p = Batas maksimum parameter kelangsingan untuk penampang kompak

- Penampang langsing

$$M_n = M_r \left(\frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots(3.7)$$

3.7.2 Kontrol Rangka Batang

1. Kontrol batang tarik

$$\text{Kontrol leleh} : Pu \leq \phi f_y A_g \quad \phi = 0,90 \dots\dots(3.8)$$

$$\text{Kontrol patah} : Pu \leq \phi f_u A_e \quad \phi = 0,75 \dots\dots(3.9)$$

2. Kontrol batang tekan

$$Pu \leq \phi f_c A_g \quad \phi = 0,90 \dots\dots(3.10)$$

3.8 Perencanaan Sambungan

Alat sambung yang digunakan adalah Baut Mutu Tinggi (*High Tension Bolt*), dimana perencanaannya berdasarkan AISC – LRFD. Perhitungan sambungan menggunakan sambungan baut tipe geser tumpu.

1. Kekuatan geser baut (V_d)

$$V_d = \phi \times V_n \dots\dots\dots(3.11)$$

$$V_n = r \times f_u^b \times A_b \times m \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimana :

$r = 0,5$ bila baut tanpa ulir pada bidang geser

$= 0,4$ bila baut dengan ulir pada bidang geser

\emptyset = faktor reduksi fraktur (0,75)

f_u^b = Tegangan tarik putus baut

A_b = Luas bruto penampang baut

m = Jumlah bidang geser tiap 1 baut

2. Kekuatan tumpu baut (R_d)

$$R_d = \emptyset \times R_n \dots\dots\dots(3.13)$$

$$R_n = 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana :

\emptyset = faktor reduksi fraktur (0,75)

d_b = Diameter baut nominal pada daerah tak berulir

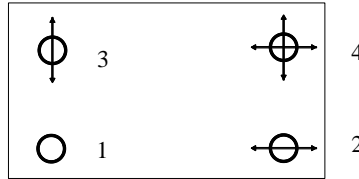
t_p = Tebal pelat

f_u = Tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat

3.9 Perencanaan Perletakan

Perletakan didapat dari reaksi-reaksi tumpuan struktur, dimana beban dan dimensi seluruh struktur atas jembatan telah bekerja. Penentuan perletakan berdasarkan dimensi yang telah umum digunakan pada perencanaan jembatan (fabrikasi). Perletakan menggunakan tipe *Pot Bearing*.

Konfigurasi *pot bearing* yang digunakan pada perencanaan jembatan sembayat baru II yaitu sebagai berikut.



Gambar 3.20 Konfigurasi Perletakan Pot Bearing
Keterangan:

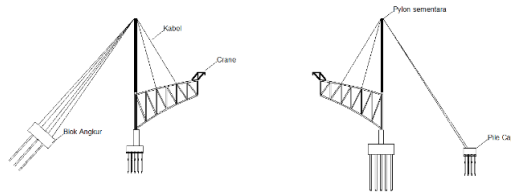
1. Tipe fixed
2. Tipe Unidirectional – x direction
3. Tipe Unidirectional – y direction
4. Tipe multilateral

3.10 *Staging Analysis*

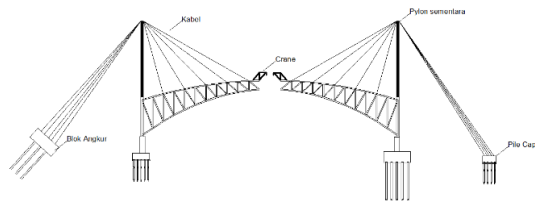
Metode pelaksanaan jembatan sembayat menggunakan sistem kantilever sebagian dengan bantuan pilon sementara sebagai penggantung kabel. Sistem ini sudah digunakan pada pelaksanaan Jembatan Kutai Kartanegara (Kalimantan Timur), dan Jembatan Chiao-tianmen (China).

Metode pelaksanaan dimulai dari masing-masing sisi jembatan dimana batang akhir penutup (*closure*) pada puncak busur dipasang diakhir, dengan memperhatikan temperatur yang tepat supaya tidak terjadi susut atau muai yang besar. Pelaksanaan dilaksanakan dengan bantuan crane yang beroperasi dibagian atas busur. Pemasangan dilakukan per segmen dari sisi menuju ke bagian tengah bentang. (Xiang, Zhongfu. *et al.* 2013)

Lantai kendaraan dipasang setelah konstruksi busur sudah selesai terpasang. Pekerjaan lantai kendaraan menggunakan alat berat crane dilakukan per segmen.



Gambar 3.21 Metode Pelaksanaan Segmental



Gambar 3.22 Pemasangan Closure

3.11 Pengecekan Accidental Load

Accidental load merupakan beban yang dihitung saat jembatan mengalami kerusakan, salah satunya berupa putusnya kabel penggantung di bagian tengah bentang.

Tujuan dari pengecekan *accidental load* ini adalah untuk mengetahui ketahanan struktur jembatan. Serta memberi kesempatan untuk melakukan perbaikan sebelum jembatan runtuh.

3.12 Gambar Rencana

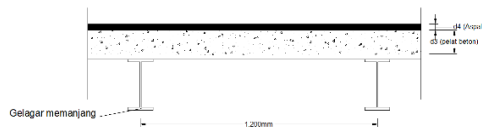
Tahapan akhir dari perencanaan berupa penyusunan gambar kerja, dalam pengerjaannya digunakan program AutoCAD. Susunan gambar kerja berupa:

1. Denah jembatan
2. Potongan melintang dan memanjang jembatan
3. Denah girder melintang dan ikatan angin
4. Detail sambungan dan perletakan

BAB IV PERENCANAAN PELAT LANTAI, TROTOAR, DAN GELAGAR JEMBATAN

4.1 Perencanaan Pelat Lantai

Menurut BMS 1992 Pasal 6.7.1.2 untuk tebal minimum pelat lantai kendaraan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:



Gambar 4.1 Pelat Lantai Kendaraan

$$t_s \geq 200 \text{ mm}$$

$$t_s \geq 100 + 40 b_1 = 100 + 40(1,2) = 148 \text{ mm}$$

dimana:

t_s = Tebal pelat lantai kendaraan

b_1 = Bentang pelat lantai antara pusat tumpuan

Maka dipakai tebal pelat = 200 mm

4.1.1 Pembebanan

a. Beban mati

- Pelat beton
 $= d_3 \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m} \times K_{MS}^U$
 $= 0,2 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m} \times 1,3 = 624 \text{ kg/m}$
 - Berat aspal
 $= d_4 \times \gamma_{\text{aspal}} \times 1 \text{ m} \times K_{MS}^U$
 $= 0,05 \text{ m} \times 2200 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m} \times 1,3 = 143 \text{ kg/m}$
- Total $Q_{du} = 767 \text{ kg/m} = 7,67 \text{ kN/m}$

b. Beban hidup

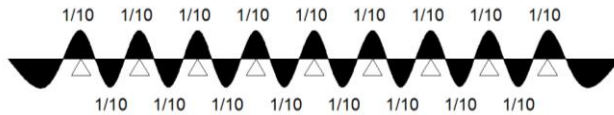
Beban truk ditetapkan 112,5 kN

Faktor kejut DLA = 30%

$$T_u = T \times (1 + \text{DLA}) \times K_{TT}^U$$

$$= 112,5 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \times 2 = 292,5 \text{ kN}$$

4.1.2 Penulangan Lantai Kendaraan



Gambar 4.2 Distribusi Momen Balok Menerus

a. Perhitungan Momen

- Momen akibat beban mati (M_D)

$$M_D = 1/10 \times Q_{du} \times b_1^2$$

$$M_D = 1/10 \times 7,67 \text{ kN/m} \times (1,2 \text{ m})^2$$

$$M_D = 0,92 \text{ kN.m}$$

- Momen akibat beban hidup (M_L)

$$M_L = 0,8 \times (S + 0,6/10) \times T_u \rightarrow S = b_1 = 1,2 \text{ m}$$

$$M_L = 0,8 \times (1,2 \text{ m} + 0,6/10) \times 292,5 \text{ kN}$$

$$M_L = 42,12 \text{ kN.m}$$

$$M_U = M_D + M_L$$

$$M_U = 0,92 \text{ kN.m} + 42,12 \text{ kN.m} = 43,04 \text{ kN.m}$$

b. Perencanaan Tulangan Melintang

f'_c beton = 35 MPa

Menurut SNI T-12-2004 pasal 5.1-, nilai β_1 untuk beton mutu lebih dari 30 MPa adalah:

$$\beta_1 = 0,85 - 8 \left(\frac{f'_c - 30}{1000} \right)$$

$$\beta_1 = 0,85 - 8 \left(\frac{35 - 30}{1000} \right) = 0,81$$

f_y tulangan = 360 MPa

Decking beton = 40 mm

Ø tulangan = D19 mm

$$\begin{aligned} d &= h - (1/2 \text{ Ø tulangan}) - \text{decking} \\ &= 200 - (1/2 \times 19) - 40 \\ &= 150,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta \times \frac{0,85 f'c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ \rho_b &= 0,81 \times \frac{0,85 \times 35}{360} \times \frac{600}{600 + 360} = 0,042 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ \rho_{\max} &= 0,75 \times 0,042 = 0,032 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ \rho_{\min} &= \frac{1,4}{360} = 0,004 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 f'c} \\ m &= \frac{360}{0,85 \times 35} = 12,101 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\ R_n &= \frac{43040000 \text{ N.mm}}{0,8 \times 1000 \times 150,5^2} = 2,375 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{2 m R_n}{F_y} \right)} \right\} \\ \rho &= \frac{1}{12,101} \left\{ 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{2 \times 12,101 \times 2,375}{360} \right)} \right\} = 0,0068 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0068$$

As perlu = $\rho \times b \times d$

$$\text{As perlu} = 0,0068 \times 1000 \times 150,5 = 1023,4 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan

D19-250 (As pakai = 1031 mm^2)

$M_n = A_s \times f_y \times d$

$M_n = 1031 \text{ mm}^2 \times 360 \text{ N/mm}^2 \times 150,5 \text{ mm}$

$M_n = 55.859.580 \text{ N.mm} = 55,85 \text{ kN.m}$

Cek kekuatan

$\phi M_n > M_u$

$0,9 \times 55,85 \text{ kN.m} > 43,04 \text{ kN.m}$

$50,265 \text{ kN.m} > 43,04 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$

c. Penulangan Arah Memanjang

Karena lantai kendaraan merupakan pelat 1 arah, maka tulangan arah memanjang digunakan tulangan susut. Rasio tulangan susut sebesar 0,0018 untuk struktur yang menggunakan tulangan ulir.

Digunakan tulangan $\phi 12$

$d = h - \text{decking} - \phi_{\text{tulangan}} - \phi_{\text{susut}}/2$

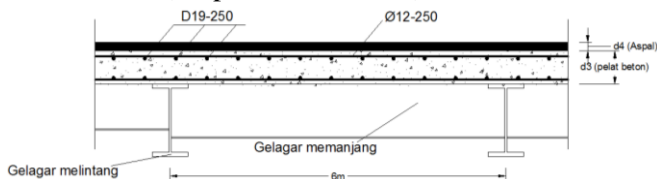
$d = 200 - 40 - 19 - 12/2 = 135 \text{ mm}$

$A_s \text{ perlu} = 0,0018 \times b \times d$

$A_s \text{ perlu} = 0,0018 \times 1000 \times 135 = 243 \text{ mm}^2$

Dipasang tulangan

$\phi 12-250$ (As pakai = 452 mm^2)



Gambar 4.3 Gambar Penulangan Pelat

4.1.3 Perhitungan Geser Pons Lantai Kendaraan

Muatan truk sebesar 500 kN.

Gaya geser (V_u)

$$V_u = T \times (1 + DLA) \times K_{TT}^U$$

$$V_u = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \times 2 = 292,5 \text{ kN}$$

Luas bidang kontak (A_k)

$$A_k = 2 \times (b_o + d_o) \times d_3$$

$$A_k = 2 \times (70 \text{ cm} + 40 \text{ cm}) \times 20 \text{ cm} = 4400 \text{ cm}^2$$

Kemampuan geser (V_n)

$$V_n = A_k \times \text{tegangan geser beton}$$

Tegangan geser beton (F_{cv})

$$F_{cv} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} \leq 0,34 \sqrt{f'c} \rightarrow \beta = b_o/d_o$$

$$F_{cv} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{1,75} \right) \sqrt{35} \leq 0,34 \sqrt{35}$$

$$F_{cv} = 2,155 \leq 2,01 \rightarrow \text{digunakan } 2,01$$

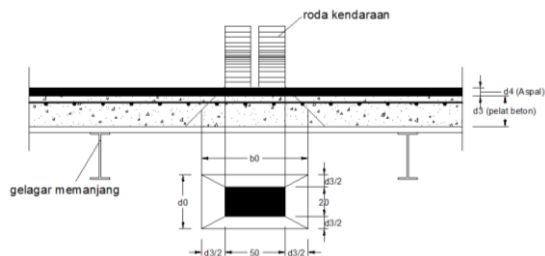
$$V_n = 4,4 \times 10^5 \text{ mm}^2 \times 2,01 \text{ N/mm}^2$$

$$V_n = 884.400 \text{ N} = 884,4 \text{ kN}$$

$$\phi V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 0,8 \text{ (Faktor reduksi kekuatan geser)}$$

$$0,8 \times 884,4 \text{ kN} \geq 292,5 \text{ kN}$$

$$707,52 \text{ kN} \geq 292,5 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$



Gambar 4.4 Bidang Penyebaran Tekanan Roda

4.2 Perencanaan Trotoar

4.2.1 Perencanaan Sandaran

a. Perencanaan pipa sandaran

$$\varnothing \text{ pipa sandaran} = 3 \text{ inch} = 76.3 \text{ mm}$$

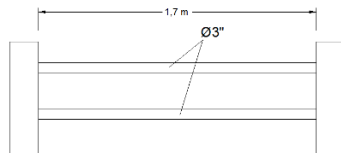
$$q \text{ pipa} = 7,13 \text{ kg/m}$$

$$I \text{ pipa} = 59,5 \text{ cm}^4$$

$$W \text{ pipa} = 15.6 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 8,58 \text{ cm}^3$$

Beban tiang sandaran = 0,75 kN/m (arah horisontal dan vertikal, SNI T-02-2005)



Gambar 4.5 Pipa Sandaran Railing

$$q \text{ sandaran} = 0.75 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} q \text{ vertikal} &= q \text{ pipa} + q \text{ sandaran} \\ &= 0,071 \text{ kN/m} + 0,75 \text{ kN/m} \\ &= 0,821 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q \text{ horizontal} &= q \text{ sandaran} \\ &= 75 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ vertikal} &= \frac{1}{8} \times q \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,821 \times 1,7^2 = 0,29 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ horizontal} &= \frac{1}{8} \times q \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,75 \times 1,7^2 = 0,27 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan pipa :

$$\begin{aligned}
 M_n &= Z_x \times f_y \\
 &= 8,58 \text{ cm}^3 \times 3600 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 30.888 \text{ kg.cm} \\
 &= 3,08 \text{ kN.m} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 3,08 \text{ kN.m} = 2,772 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Rasio momen :

$$\begin{aligned}
 \frac{M_v}{M_n} &= \frac{0,29}{2,772} = 0,1 \\
 \frac{M_h}{M_n} &= \frac{0,27}{2,772} = 0,09 \\
 0,1 + 0,09 &= 0,19 < 1 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Lendutan yang terjadi pada pipa :

$$\begin{aligned}
 \delta \text{ ijin} &= \frac{l}{300} = \frac{170}{300} = 0,56 \text{ cm} \\
 \delta \text{ vertikal} &= \frac{5 q_x l^4}{384 E I} \\
 &= \frac{5 \times 0,82 \times 1,7^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 71,5} = 0,06 \text{ cm} \\
 \delta \text{ horisontal} &= \frac{5 q_y l^4}{384 E I} \\
 &= \frac{5 \times 0,75 \times 1,7^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 71,5} = 0,05 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Resultan } \delta &= \sqrt{\delta_v^2 + \delta_h^2} \\
 &= \sqrt{0,06^2 + 0,05^2} = 0,07 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta \text{ terjadi} &< \delta \text{ ijin} \\
 0,07 \text{ cm} &< 0,56 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Perencanaan Kolom Sandaran

- a. Beban mati
Berat sendiri kolom = $b \times h \times L \times \gamma$ beton

$$= 0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 216 \text{ kg}$$

$$\text{Berat pipa sandaran} = n \text{ pipa} \times q \text{ pipa} \times \text{jarak kolom}$$

$$= 2 \times 7,13 \text{ kg/m} \times 1,7 \text{ m}$$

$$= 24,242 \text{ kg}$$

$$P_D = \text{berat sendiri kolom} + \text{berat pipa sandaran}$$

$$= 216 \text{ kg} + 24,242 \text{ kg} = 240,242 \text{ kg}$$

$$M_D = P_D \times \frac{b}{2}$$

$$= 240,242 \text{ kg} \times (0,3 \text{ m}/2) = 36,03 \text{ kg.m}$$

b. Beban hidup

$$q_L = 75 \text{ kg/m}$$

$$P_L = q_L \times L$$

$$= 75 \text{ kg/m} \times 1,7 \text{ m} = 127,5 \text{ kg}$$

$$M_L = P_L \times \text{tinggi kolom}$$

$$= 127,5 \text{ kg} \times 1 \text{ m} = 127,5 \text{ kg.m}$$

$$P_U = 1,2 P_D + 1,6 P_L$$

$$P_U = (1,2 \times 240,242 \text{ kg}) + (1,6 \times 127,5 \text{ kg})$$

$$P_U = 492,29 \text{ kg} = 4922,9 \text{ N}$$

$$M_U = 1,2 M_D + 1,6 M_L$$

$$M_U = (1,2 \times 36,03 \text{ kg.m}) + (1,6 \times 127,5 \text{ kg.m})$$

$$M_U = 247,236 \text{ kg.m}$$

$$M_n = \frac{M_U}{\phi}$$

$$M_n = \frac{247,236 \text{ kg.m}}{0,8} = 309,04 \text{ kg.m} = 309,04 \times 10^4 \text{ N.mm}$$

$$\frac{M_n}{b \times h^2} = \frac{306,04 \times 10^4 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}^2} = 0,11 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{P_u}{b \times h} = \frac{4922,9 \text{ N}}{300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}} = 0,05 \text{ N/mm}^2$$

Dari grafik interaksi didapatkan : $\rho = 0,01$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \rightarrow d = b - \text{decking} - \phi \text{ tulangan} \\ &= 300 - 20 - 12 = 268 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_s = 0,01 \times 300 \text{ mm} \times 268 \text{ mm} = 804 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times \phi^2} = \frac{804 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times 12^2} = 7,1$$

$$\text{Dipasang } 8\phi 12 \rightarrow A_s \text{ pasang} = 904,7 \text{ mm}^2$$

Perencanaan tulangan geser:

- $V_u = \frac{1}{2} \times P_u \times L$
 $= 0,5 \times 4922,9 \text{ N} \times 1,2 = 2953,74 \text{ N}$
- $V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d$
 $V_c = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 300 \times 268 = 79275,5 \text{ N}$
 $\phi V_c = 0,6 \times 79275,5 \text{ N} = 47565,3 \text{ N}$

Karena $V_u \leq \phi V_c$ (Maka tidak perlu tulangan geser).

Walaupun secara teoritis tidak perlu sengkang tetapi untuk kestabilan struktur dan peraturan mensyaratkan dipasang tulangan minimum (spasi maksimum).

$$S_{\text{maksimum}} = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \times 268 \text{ mm} = 134 \text{ mm}$$

Digunakan spasi = 134 mm dengan luas tulangan minimum:

Dipakai tulangan $\phi 10$

($A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$), maka jarak sengkang :

$$S = \frac{Av \times fy}{\frac{1}{3}\sqrt{f'c} b}$$

$$S = \frac{157,08 \times 360}{\frac{1}{3}\sqrt{35} \times 300} = 95,5 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\phi 10$ –90 mm.

4.2.3 Perencanaan Kerb

Beban pejalan kaki = 5 kPa = 500 kg/m² (SNI T-02-2004)

Lebar trotoar = 1,5 m

Data perencanaan kerb :

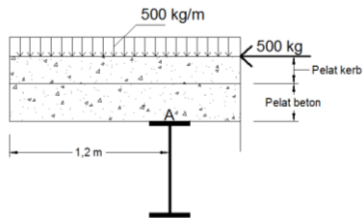
$h = 250 \text{ mm}$ $f_y = 360 \text{ Mpa}$ (tulangan lentur)

$d = 180 \text{ mm}$ $f_y = 360 \text{ MPa}$ (tulangan susut)

$t = 200 \text{ mm}$ $\phi = 13 \text{ mm}$ (tulangan lentur)

$f'c = 35 \text{ Mpa}$ $\phi = 6 \text{ mm}$ (tulangan susut)

$$K_{TP}^U = 1,8$$



Gambar 4.6 Pembebanan Trotoar

Beban yang bekerja:

a. Akibat Beban Mati :

q_{D1} (Berat Trotoar/Kerb)

$$= 0,2 \times 1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 480 \text{ kg/m}$$

q_{D2} (Berat Pelat Beton)

$$= 0,2 \times 1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 480 \text{ kg/m}$$

b. Akibat Beban Hidup :

H_1 (beban pejalan kaki + kendaraan ringan)

$$= 500 \text{ kg/m}$$

H_2 (beban tumbukan pada trotoar)

$$= 500 \text{ kg}$$

Akibat Momen yang terjadi di titik A:

$$MP_1 = 480 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} = 324 \text{ kg.m}$$

$$MP_2 = 480 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} = 324 \text{ kg.m}$$

$$MH_1 = 500 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} = 337,5 \text{ kg.m}$$

$$MH_2 = 500 \text{ kg} \times 0,4 \text{ m} = 200 \text{ kg} +$$

$$M_{\text{Total}} (M_U) = 1185,5 \text{ kg.m}$$

$$= 11,85 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

c. Perhitungan tulangan Kerb:

$$f'_c \text{ beton} = 35 \text{ MPa}$$

Menurut SNI T-12-2004 pasal 5.1-, nilai β_1 untuk beton mutu lebih dari 30 MPa adalah:

$$\beta_1 = 0,85 - 8 \left(\frac{f'_c - 30}{1000} \right)$$

$$\beta_1 = 0,85 - 8 \left(\frac{35 - 30}{1000} \right) = 0,81$$

$$f_y \text{ tulangan} = 360 \text{ MPa}$$

$$\text{Decking beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\emptyset \text{ tulangan} = \emptyset 13 \text{ mm}$$

$$d = h - (1/2 \emptyset \text{ tulangan}) - \text{decking}$$

$$= 200 - (1/2 \times 13) - 40$$

$$= 153,5 \text{ mm}$$

$$\rho_b = \beta \times \frac{0,85 f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = 0,81 \times \frac{0,85 \times 35}{360} \times \frac{600}{600 + 360} = 0,042$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times 0,042 = 0,032$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{360} = 0,004$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c}$$

$$m = \frac{360}{0,85 \times 35} = 12,101$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$R_n = \frac{674,5 \times 10^4 \text{ N.mm}}{0,8 \times 1000 \times 153,5^2} = 0,357 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{2 m R_n}{F_y} \right)} \right\}$$

$$\rho = \frac{1}{12,101} \left\{ 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{2 \times 12,101 \times 0,357}{360} \right)} \right\} = 0,0009$$

$$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\min} > \rho = 0,004$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,004 \times 1000 \times 153,5 = 614 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan
Ø13-200 (As pakai = 664 mm²)

Cek kekuatan

$$M_n = A_s \times f_y \times d$$

$$M_n = 664 \times 360 \times 153,5$$

$$M_n = 36.692.640 \text{ N.mm} = 36,67 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 36,67 \text{ kN.m} \geq 11,85 \text{ kN.m}$$

$$33 \text{ kN.m} \geq 11,85 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

Tulangan susut dipakai $\emptyset 6$

$$d = h - \text{decking} - \emptyset_{\text{tulangan}} - \emptyset_{\text{susut}}/2$$

$$d = 200 - 40 - 13 - 6/2 = 144 \text{ mm}$$

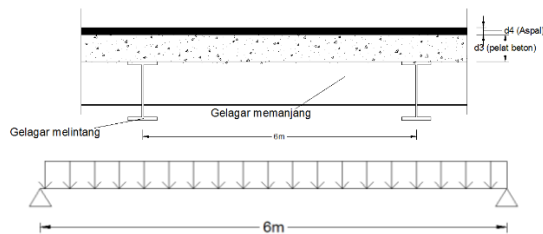
$$A_s \text{ perlu} = 0,0018 \times b \times d$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,0018 \times 1000 \times 144 = 259,2 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan

$$\emptyset 6-100 (A_s \text{ pakai} = 283 \text{ mm}^2)$$

4.3 Gelagar Memanjang



Gambar 4.7 Pemodelan Gelagar Memanjang

Data profil:

WF 500 x 200 x 10 x 16

$$A = 114,2 \text{ cm}^2$$

$$W = 89,65 \text{ kg/m}$$

$$Z_x = 2096 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 332 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 47.800 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2140 \text{ cm}^4$$

4.3.1 Pembebanan

a. Beban mati

- Pelat beton

$$= d3 \times \gamma_{\text{beton}} \times b1 \times K_{MS}^U$$

$$= 0,2 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1,2 \text{ m} \times 1,3 = 748,8 \text{ kg/m}$$

- Aspal
 $= d_4 \times \gamma_{\text{aspal}} \times b_1 \times K_{MS}^U$
 $= 0,05\text{m} \times 2200\text{kg/m}^3 \times 1,2 \text{ m} \times 1,3 = 171,6 \text{ kg/m}$
- Berat sendiri balok
 $= W \times K_{MS}^U$
 $= 89,65 \text{ kg/m} \times 1,1 = 98,615 \text{ kg/m}$
- Bekisting
 $= W \times b_1 \times K_{MS}^U$
 $= 50 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m} \times 1,4 = 84 \text{ kg/m}$

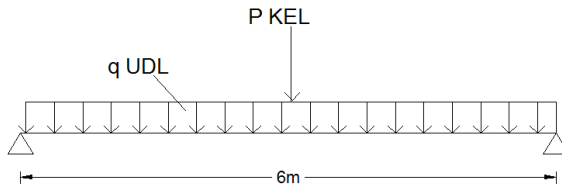
$$q_D = 1103,015 \text{ kg/m}$$

$$M_D = 1/8 \times q_D \times \lambda^2$$

$$M_D = 1/8 \times 1103,015 \text{ kg/m} \times 6^2 = 4963,56 \text{ kg.m}$$

$$= 49,63 \text{ kN.m}$$

b. Beban hidup



Gambar 4.8 Pemodelan Beban Hidup UDL dan KEL

- UDL $\rightarrow L = 144 \text{ m}$
 $= L > 30 \text{ m} = q = 9 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$
 $= 9 \times (0,5 + 15/144) \text{ kPa}$
 $= 5,437 \text{ kPa} = 5,437 \text{ kN/m}^2$
 $q_{UDL} = q \times b_1 \times K_{TD}^U$
 $q_{UDL} = 543,7 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m} \times 1,8$
 $q_{UDL} = 1174,4 \text{ kg/m} = 11,74 \text{ kN/m}$
- KEL $\rightarrow P = 49 \text{ kN/m}$
 $P_{KEL} = P \times b_1 \times (1 + DLA) \times K_{TD}^U \rightarrow DLA = 30\%$
 $P_{KEL} = 49 \text{ kN/m} \times 1,2 \text{ m} \times (1 + 0,3) \times 1,8$

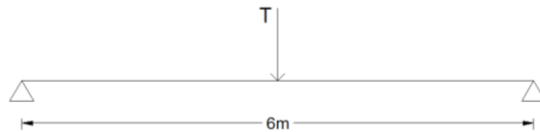
$$P_{\text{KEL}} = 137,6 \text{ kN}$$

$$M_{L1} = (1/8 \times q_{\text{UDL}} \times \lambda^2) + (1/4 \times P_{\text{KEL}} \times \lambda)$$

$$M_{L1} = (1/8 \times 11,74 \times 6^2) + (1/4 \times 137,6 \times 6)$$

$$M_{L1} = 52,83 \text{ kN.m} + 206,4 \text{ kN.m} = 259,23 \text{ kN.m}$$

- Truk $\rightarrow T = 112,5 \text{ kN}$
 $T_U = T \times (1 + \text{DLA}) \times K_{\text{TT}}^U \rightarrow \text{DLA} = 30\%$
 $T_U = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \times 2 = 292,5 \text{ kN}$



Gambar 4.9 Pemodelan Beban Hidup Truk

$$M_{L2} = 1/4 \times T_U \times \lambda$$

$$M_{L2} = 1/4 \times 292,5 \text{ kN} \times 6 \text{ m} = 438,75 \text{ kN.m}$$

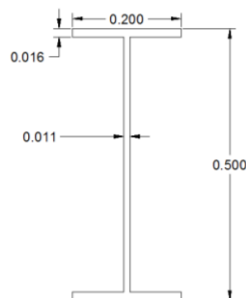
$$M_{L1} < M_{L2} \rightarrow M_L \text{ digunakan } 438,75 \text{ kN.m}$$

$$M_U = M_D + M_L$$

$$M_U = 49,63 \text{ kN.m} + 438,75 \text{ kN.m}$$

$$M_U = 488,38 \text{ kN.m}$$

4.3.2 Kontrol Tekuk Lokal



Gambar 4.10 Penampang Gelagar Memanjang

$$\begin{aligned}
 - \text{Badan} &= \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \rightarrow h = d - 2(tr + r) \\
 &= 500 - 2(16 + 20) = 428 \text{ mm} \\
 &= \frac{428}{10} \leq \frac{1680}{\sqrt{410}} = 42,8 \leq 82,96 \rightarrow \text{Kompak} \\
 - \text{Sayap} &= \frac{b}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \\
 &= \frac{200}{2 \times 16} \leq \frac{170}{\sqrt{410}} = 5,55 \leq 8,4 \rightarrow \text{Kompak}
 \end{aligned}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p = Z_x \times f_y$

$$M_n = 2096 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = 8.593.600 \text{ kg.cm} = 859,36 \text{ kN.m}$$

4.3.3 Kontrol Tekuk Lateral

$$L_p = 168,315 \text{ cm}$$

$$L_b = 600 \text{ cm} \quad \rightarrow L_b > L_r = \text{Bentang panjang}$$

$$L_r = 433,751 \text{ cm} \quad = M_n \neq M_p$$

$$M_n = M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L} \times \sqrt{E I_y G J + \left(\frac{\pi E}{L} \right)^2 I_y C_w} < M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} < 2,3$$

$$M_{max} = 441,325 \text{ kN.m}$$

$$M_a = 34,83 \text{ kN.m}$$

$$M_b = 441,325 \text{ kN.m}$$

$$M_c = 34,83 \text{ kN.m}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 441,325}{2,5 \times 441,325 + 3 \times 34,83 + 4 \times 441,325 + 3 \times 34,83} = 1,79 < 2,3$$

$G = \text{Modulus geser baja} = 80.000 \text{ MPa}$

$J = \text{Konstanta puntir torsi}$

$$J = \frac{1}{3} (2 \times 500 \times 16^3) + (168 \times 11^3) = 1439869,3 \text{ mm}^4$$

$$C_w = I_y \times h^2/4 = 2140 \times 42,8^2/4$$

$$= 22898 \text{ cm}^6 = 22898 \times 10^6 \text{ mm}^6$$

$$M_n =$$

$$= 1,79 \frac{\pi}{6000} \sqrt{2,1 \times 10^5 \times 2,14 \times 10^7 \times 8 \times 10^4 \times 1,44 \times 10^6 + \left(\frac{\pi \times 2,1 \times 10^5}{6000} \right)^2 2,14 \times 10^7 \times 22898 \times 10^6}$$

$$M_n = 678502546 \text{ N.mm}$$

$$M_n = 678,5 \text{ kN.m} < M_p = 859,36 \text{ kN.m}$$

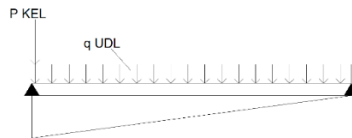
$$M_u < \phi M_n$$

$$488,38 \text{ kN.m} < 0,9 \times 678,5 \text{ kN.m}$$

$$488,38 \text{ kN.m} < 610,65 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

4.3.4 Kontrol Geser

a. Beban UDL + KEL



Gambar 4.11 Pemodelan Beban Geser dan Garis Pengaruh

$$V_u = (P_{KEL} \times 1) + (1/2 \times q_{UDL} \times \lambda)$$

$$V_u = (137,6 \text{ kN} \times 1) + (1/2 \times 11,74 \text{ kN/m} \times 6\text{m})$$

$$V_u = 172,82 \text{ kN}$$

b. Beban Truk

$$V_u = T \times (1+DLA) \times 1 \times K_{TT}^U$$

$$V_u = 112,5 \text{ kN} (1+0,3) \times 1 \times 2 = 292,5 \text{ kN}$$

$$V_{UDL+KEL} \text{ dan } V_T \text{ diambil terbesar, } V_u = 292,5 \text{ kN}$$

Kontrol penampang

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = \frac{428}{10} \leq \frac{1100}{\sqrt{410}} = 38,9 \leq 54,32 \rightarrow \text{Plastis}$$

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w$$

$$V_n = 0,6 \times 410 \text{ MPa} \times (428 \text{ mm} \times 11 \text{ mm})$$

$$V_n = 1158168 \text{ N} = 1158 \text{ kN}$$

$$V_u < \phi V_n$$

$$292,5 \text{ kN} < 0,9 \times 1158 \text{ kN} = 292,5 \text{ kN} > 1042,2 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

4.3.5 Kontrol Lendutan

Lendutan akibat beban hidup tanpa faktor beban

$$\Delta_{\text{ijin}} = \lambda/800 = 600/800 = 0,75 \text{ cm}$$

- Lendutan akibat beban UDL dan KEL

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{5 q l^4}{384 E I} + \frac{P l^3}{48 E I} \rightarrow q_{\text{UDL}} = q \times b_1 \\ &= 543,7 \times 1,2 = 652,44 \text{ kg/m} \\ &= 6,52 \text{ N/mm} \\ P_{\text{KEL}} &= P \times b_1 \times (1 + \text{DLA}) \\ &= 49 \times 1,2 \times (1 + 0,3) = 146,25 \text{ kN} \\ &= 146,25 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{5 \times 6,524 \times 6000^4}{384 \times 2,1 \times 10^5 \times 47800 \times 10^4} + \frac{76,44 \times 10^3 \times 6000^3}{48 \times 2,1 \times 10^5 \times 47800 \times 10^4} \\ \Delta &= 4,51 \text{ mm} = 0,45 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Lendutan akibat beban truk

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{P l^3}{48 E I} \rightarrow T_u = T \times (1 + \text{DLA}) \\ &= 112,5 \text{ kN} \times (1 + 0,3) = 146,25 \text{ kN} \\ &= 146,25 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Delta = \frac{146,25 \times 10^3 \times 6000^3}{48 \times 2,1 \times 10^5 \times 47800 \times 10^4} = 6,55 \text{ mm} = 0,65 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{terjadi}} < \Delta_{\text{ijin}}$$

$$0,65 \text{ cm} < 0,75 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}$$

4.3.6 Sambungan Gelagar Memanjang – Melintang

Data perencanaan sambungan:

- Pelat siku penyambung : L 80 x 80 x 8, $f_u = 550$ MPa
- \varnothing baut = 16 mm (ASTM A325), $f_u^b = 825$ MPa
- \varnothing lubang = 16 mm + 1,5 = 17,5 mm (lubang dibor)
- $m = 2 \rightarrow 2$ pelat siku = 2 bidang geser

a. Kekuatan ijin 1 baut:

- Kekuatan geser (Vd)
 $Vd = \varnothing \times m \times r1 \times f_u^b \times Ab$
 $Vd = 0,75 \times 2 \times 0,4 \times 8250 \times (0,25 \times \pi \times 1,6^2)$
 $Vd = 9949,5 \text{ kg} = 99,5 \text{ kN}$
- Kekuatan tumpu (Rn)
 $Rn = \varnothing \times 2,4 \times dbaut \times tp \times f_u$
 $Rn = 0,75 \times 2,4 \times 1,6 \text{ cm} \times 0,8 \text{ cm} \times 5000 \text{ kg/cm}^2$
 $Rn = 11.520 \text{ kg} = 115,2 \text{ kN}$

Dipilih nilai terkecil antara kekuatan geser dan tumpu, yaitu 99,5 kN.

Gaya yang bekerja pada sambungan gelagar memanjang yaitu gaya reaksi pada tumpuan (Vu) sebesar 292,5 kN.

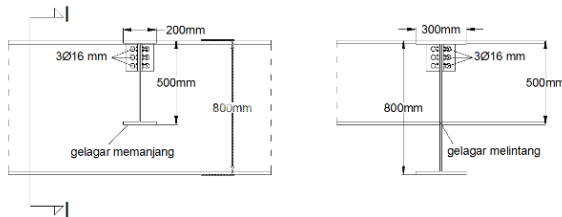
- b. Jumlah baut (n) = Vu/Vd
 $n = 292,5 \text{ kN}/99,5 \text{ kN} = 2,9 \text{ baut} \approx 3 \text{ baut}$
- c. Jarak baut
- Jarak antara baut ($d=1,6 \text{ cm}$)
 $3d \leq S \leq 15tp$
 $4,8 \text{ cm} \leq S \leq 12 \text{ cm}$
 S diambil 5 cm.
 - Jarak baut ke tepi sambungan
 $1,5d \leq S \leq (4tp+100)$ atau 200mm
 $2,4 \text{ cm} \leq S \leq 13,2 \text{ cm}$ atau 20 cm
 S diambil 3 cm.

d. Kontrol pelat siku $\rightarrow L\ 80 \times 80 \times 8$

- Luas geser
 $(A_{nv}) = L_{nv} \times t_L$
 $= (L - n \cdot d_1) \times t_L$
 $= (160 - 3 \times 17,5) \times 8$
 $= 860\text{ mm}^2 = 8,6\text{ cm}^2$
- Kuat geser rencana
 $\phi V_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv}$
 $= 0,6 \times 5000 \times 8,6$
 $= 25.800\text{ kg} = 258\text{ kN}$

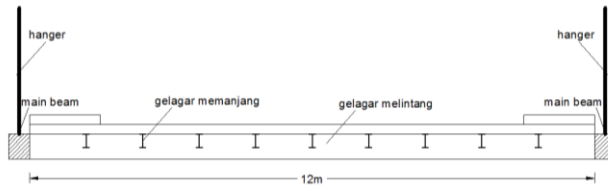
Karena memakai 2 siku, maka:
 $2 \times \phi V_n = 2 \times 258\text{ kN} = 516\text{ kN}$

$V_u < \phi V_n$
 $292,5\text{ kN} < 516\text{ kN} \rightarrow \text{OK}$



Gambar 4.12 Sambungan Gelagar Memanjang Dengan Gelagar Melintang

4.4 Gelagar Melintang



Gambar 4.13 Pemodelan Gelagar Melintang

Data profil:

WF 800 x 300 x 14 x 22

$$A = 243,4 \text{ cm}^2 \quad Z_x = 7.040 \text{ cm}^3$$

$$W = 191 \text{ kg/m} \quad Z_y = 1.027 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 254.000 \text{ cm}^4 \quad I_y = 9,930 \text{ cm}^4$$

4.4.1 Pembebanan

a. Sebelum komposit

Beban yang bekerja sebelum komposit hanya beban mati sebelum pengaspalan.

- Beban mati

- Pelat beton
 $= d \times \gamma_{\text{beton}} \times \lambda \times K_{MS}^U$
 $= 0,2 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 6 \text{ m} \times 1,3$
 $= 3744 \text{ kg/m}$
- Balok memanjang
 $= (W \times \lambda/b1) \times K_{MS}^U$
 $= (89,65 \text{ kg/m} \times 6 \text{ m}/1,2 \text{ m}) \times 1,3$
 $= 493,075 \text{ kg/m}$
- Berat sendiri balok melintang
 $= W \times K_{MS}^U$
 $= 191 \text{ kg/m} \times 1,1 = 210,1 \text{ kg/m}$
- Bekisting
 $= W \times \lambda \times K_{MS}^U$
 $= 50 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} \times 1,4 = 168 \text{ kg/m}$

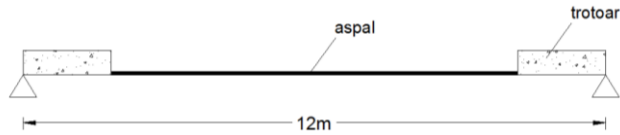
$$q_D = 4615,17 \text{ kg/m} = 46,15 \text{ kN/m}$$

$$M_{D1} = 1/8 \times q_D \times L^2$$

$$\rightarrow L = \text{Panjang gelagar melintang} = 12 \text{ m}$$

$$M_{D1} = 1/8 \times 46,15 \text{ kN/m} \times 12^2 = 830,7 \text{ kN.m}$$

b. Setelah komposit

**Gambar 4.14** Pembebanan Setelah Komposit

- Beban mati

- Aspal

$$= d \times \gamma_{\text{aspal}} \times \lambda \times K_{MS}^U$$

$$= 0,05 \text{ m} \times 2200 \text{ kg/m}^3 \times 6 \text{ m} \times 1,3$$

$$= 858 \text{ kg/m}$$
- Trotoar

$$= t \times \gamma_{\text{beton}} \times \lambda \times K_{MS}^U$$

$$= 0,2 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 6 \text{ m} \times 1,3$$

$$= 3744 \text{ kg/m}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \times 12 = (3744 \times 1,5 \times 11,25) + (858 \times 9 \times 6) + (3744 \times 1,5 \times 0,75)$$

$$R_A \times 12 = 113.724 \text{ kg.m}$$

$$R_A = 113.724/12 = 9477 \text{ kg} = 94,77 \text{ kN}$$

$$M_{D2} = (R_A \times 6) - (3744 \times 1,5 \times 4,5) - (858 \times 4,5 \times (4,5/2))$$

$$M_{D2} = (9477 \times 6) - (3744 \times 1,5 \times 4,5) - (858 \times 4,5 \times (4,5/2))$$

$$M_{D2} = 22.902,75 \text{ kg.m} = 229,02 \text{ kN.m}$$

- Beban hidup

- UDL $\rightarrow L = 144 \text{ m}$

$$= L > 30 \text{ m} = q = 9 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$$

$$= 9 \times (0,5 + 15/144) \text{ kPa}$$

$$= 5,437 \text{ kPa} = 5,437 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{UDL} = q \times \lambda \times K_{TD}^U$$

$$q_{UDL} = 543,7 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} \times 2$$

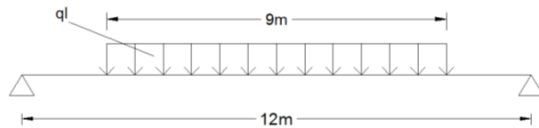
$$q_{UDL} = 6516 \text{ kg/m} = 65,16 \text{ kN/m}$$

- KEL $\rightarrow P = 49 \text{ kN/m}$, DLA = 30%
 $q_{KEL} = P \times (1 + \text{DLA}) \times K_{TD}^U$
 $q_{KEL} = 49 \text{ kN/m} \times (1 + 0,3) \times 2$
 $q_{KEL} = 127,4 \text{ kN/m}$

$$q_L = q_{UDL} + q_{KEL}$$

$$q_L = 65,16 \text{ kN/m} + 127,4 \text{ kN/m}$$

$$q_L = 192,5 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.15 Pembebanan UDL dan KEL

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \times 12 = (q_L \times 9 \times 6)$$

$$R_A \times 12 = (192,5 \times 9 \times 6)$$

$$R_A \times 12 = 10.395$$

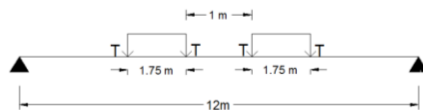
$$R_A = 10.395/12 = 866,25 \text{ kN}$$

$$M_{L1} = (R_A \times 6) - (q_L \times 4,5 \times 2,25)$$

$$M_{L1} = (866,25 \times 6) - (192,5 \times 4,5 \times 2,25)$$

$$M_{L1} = 3.248,4 \text{ kN.m}$$

- Truk kondisi 1 $\rightarrow T = 112,5 \text{ kN}$
 $T_U = T \times (1 + \text{DLA}) \times K_{TT}^U \rightarrow \text{DLA} = 30\%$
 $T_U = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \times 2 = 292,5 \text{ kN}$



Gambar 4.16 Pembebanan Truk Kondisi 1

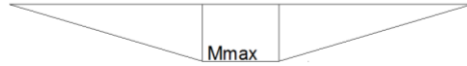
$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \times 12 = T_U \times (8,25 + 6,5 + 5,5 + 3,75)$$

$$R_A \times 12 = 292,5 \times (8,25 + 6,5 + 5,5 + 3,75)$$

$$R_A \times 12 = 7.020$$

$$R_A = 7.020/12 = 585 \text{ kN}$$



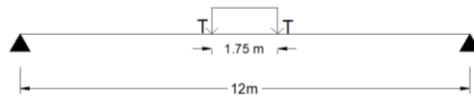
Gambar 4.17 Bidang Momen Akibat Beban Truk Kondisi 1

$$M_{L2} = (R_A \times 5,5) - (T_U \times 1,75)$$

$$M_{L2} = (585 \times 5,5) - (292,5 \times 1,75)$$

$$M_{L2} = 2.705,62 \text{ kN.m}$$

- Truk kondisi 2 $\rightarrow T = 112,5 \text{ kN}$
 $T_U = T \times (1 + \text{DLA}) \times K_{TT}^U \rightarrow \text{DLA} = 30\%$
 $T_U = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \times 2 = 292,5 \text{ kN}$



Gambar 4.18 Pembebanan Truk Kondisi 2

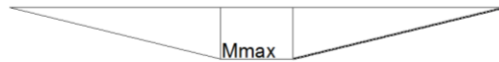
$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \times 12 = T_U \times (6,875 + 5,125)$$

$$R_A \times 12 = 292,5 \times (6,875 + 5,125)$$

$$R_A \times 12 = 3.510$$

$$R_A = 3.510/12 = 292,5 \text{ kN}$$



Gambar 4.19 Bidang Momen Akibat Beban Truk Kondisi 2

$$M_{L3} = (R_A \times 6)$$

$$M_{L3} = (292,5 \times 6) = 1.755 \text{ kN.m}$$

M_{L1} memiliki nilai paling besar dari M_{L2} dan $M_{L3} \rightarrow$ maka M_L digunakan 3.248,4 kN.m

$$M_U = M_{D2} + M_L$$

$$M_U = 229,02 \text{ kN.m} + 3.248,4 \text{ kN.m}$$

$$M_U = 3.477,42 \text{ kN.m}$$

4.4.2 Kontrol Penampang Komposit

- Cek kriteria penampang

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \rightarrow h = D - 2(t_f + r) = 800 - 2(22 + 28) = 700 \text{ mm}$$

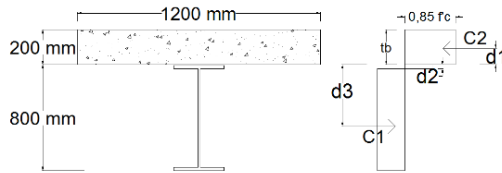
$$\frac{700}{14} \leq \frac{1680}{\sqrt{410}} = 50 \leq 99 \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

- Tentukan b efektif beton

L/4 atau S (jarak antara as gelagar memanjang)

$$12.000 \text{ mm} / 4 = 3.000 \text{ mm}$$

$$S = 1.200 \text{ mm} \rightarrow b_{eff} = S = 1.200 \text{ mm}$$



Gambar 4.20 Pemodelan Gelagar Komposit

- Menentukan nilai C

$$C1 = A_s \times f_y$$

$$C1 = 24.340 \text{ mm}^2 \times 410 \text{ N/mm}^2 = 9.979.400 \text{ N}$$

$$C2 = 0,85 \times f'_c \times A_c \rightarrow A_c = b_{eff} \times t_b$$

$$C2 = 0,85 \times 35 \text{ MPa} \times (1.200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm})$$

$$C2 = 7.140.000 \text{ N}$$

C diambil dari nilai terkecil = $C2 = 7.140.000 \text{ N}$

Garis netral jatuh di profil baja

Cek nilai A

$$P_y - A = C2 + A$$

$$2A = P_y - C2$$

$$2A = 9.979.400 \text{ N} - 7.140.000 \text{ N}$$

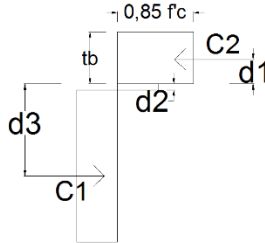
$$A = 1.419.700 \text{ N}$$

$$P_{flens} = B_f \times t_f \times f_y$$

$$P_{flens} = 300 \text{ mm} \times 22 \text{ mm} \times 410 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{flens} = 2.706.000 \text{ N}$$

$A < P_{flens} \rightarrow$ Garis netral jatuh di flens baja



Gambar 4.21 Jarak Garis Netral Gelagar Komposit

$$d2 = A / (2 \times b_f \times f_y)$$

$$d2 = 1.419.700 / (2 \times 300 \times 410) = 5,7 \text{ mm}$$

$$d1 = \frac{1}{2} tb$$

$$d1 = \frac{1}{2} 200 = 100 \text{ mm}$$

$$d3 = D/2$$

$$d3 = 800/2 = 400 \text{ mm}$$

$$M_n = C2 (d1 + d2) + P_y (d3 - d2)$$

$$M_n = 7.140.000 (100 + 5,7) + 9.979.400 (400 - 5,7)$$

$$M_n = 4.689.575.420 \text{ N.mm} = 4.689,5 \text{ kN.m}$$

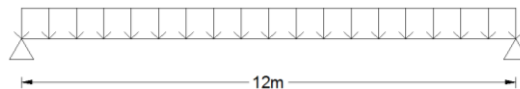
$$M_u < \phi M_n$$

$$3.477,42 \text{ kN.m} < 0,85 \times 4.689,5 \text{ kN.m}$$

$$3.477,42 \text{ kN.m} < 3.986,07 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

4.4.3 Kontrol Geser

a. Gaya geser sebelum komposit

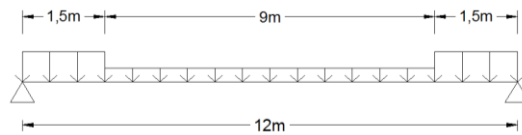


Gambar 4.22 Pemodelan Beban Geser Sebelum Komposit

$$V_a = \frac{1}{2} \times q \times L$$

$$V_a = \frac{1}{2} \times 46,15 \times 12 = 276,9 \text{ kN}$$

b. Gaya geser setelah komposit

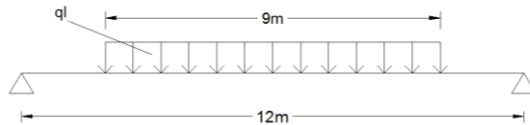


Gambar 4.23 Pemodelan Beban Geser Setelah Komposit

$$V_a = R_a = 94,7 \text{ kN}$$

c. Gaya geser beban hidup

Beban hidup digeser ke salah satu sisi perletakan agar didapat gaya geser maksimal di perletakan.



Gambar 4.24 Pemodelan Beban Geser Beban Hidup

$$V_a = R_a = 866,25 \text{ kN}$$

$$\text{Total } V_u = V_u \text{ setelah komposit} + V_u \text{ beban hidup}$$

$$V_u = 94,7 \text{ kN} + 866,25 \text{ kN} = 960,95 \text{ kN}$$

Cek penampang

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} = \frac{700}{14} \leq \frac{1680}{\sqrt{410}} = 50 \leq 99 \rightarrow \text{Kompak}$$

$$V_n = 0.6 \times f_y \times A_w$$

$$V_n = 0,6 \times 410 \text{ N/mm}^2 \times (700 \text{ mm} \times 14 \text{ mm})$$

$$V_n = 2.410.800 \text{ N} = 2.410,8 \text{ kN}$$

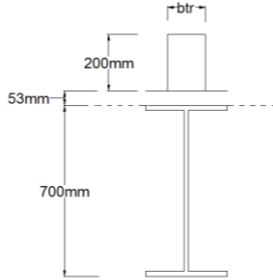
$$V_u \leq \phi V_n$$

$$960,95 \text{ kN} \leq 0,9 \times 2.410,8 \text{ kN}$$

$$960,95 \text{ kN} \leq 2.169,72 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

4.4.4 Kontrol Lendutan

Beton ditransformasikan ke baja



Gambar 4.25 Transformasi Pelat Beton

$$n = E_s/E_c \rightarrow E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c}$$

$$n = \frac{2,1 \times 10^5}{4700 \sqrt{35}} = 7,55$$

$$b_{tr} = b_{eff}/n$$

$$b_{tr} = 1200/7,55 = 158,94 \text{ mm}$$

$$A_{tr} = b_{tr} \times t_b$$

$$A_{tr} = 158,94 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} = 31.788 \text{ mm}^2$$

Letak garis netral penampang transformasi

$$y_{na} = \frac{\frac{A_{tr} \times t_b}{2} + A_s \left(t_b + \frac{D}{2} \right)}{A_{tr} + A_s}$$

$$y_{na} = \frac{\frac{31788 \times 200}{2} + 24340 \left(200 + \frac{800}{2} \right)}{31788 + 24340} = 316,8 \text{ mm}$$

Momen inersia penampang transformasi

$$I_{tr} = \frac{b_{tr} \times t_b^3}{12} + A_{tr} \left(y_{na} - \frac{t_b}{2} \right)^2 + I_x + A_s \left[\left(\frac{D}{2} + t_b \right) - y_{na} \right]^2$$

$$I_{tr} = \frac{158,94 \times 200^3}{12} + 31788 \left(316,8 - \frac{200}{2} \right)^2 + 2,54 \times 10^9 + 24340 + \left[\left(\frac{800}{2} + 200 \right) - 316,8 \right]^2$$

$$I_{tr} = 4.140.171.747 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = \frac{5 q l^4}{384 E I} \rightarrow q = 3325,9 \text{ kg/m} = 33,259 \text{ N/mm}$$

$$\Delta = \frac{5 \times 33,25 \times 12000^4}{384 \times 2,1 \times 10^5 \times 4140171747} = 10,32 \text{ mm} = 1,03 \text{ cm}$$

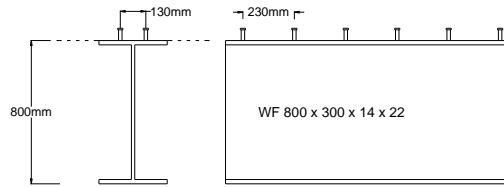
$$\Delta_{ijin} = L/800 = 1200/800 = 1,5 \text{ cm}$$

$$\Delta_{terjadi} < \Delta_{ijin}$$

$$1,03 \text{ cm} < 1,5 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}$$

4.4.5 Perhitungan Shear Connector

- Data shear connector
Tipe stud Ø19 $\rightarrow A_{sc} = (0,25 \times \pi \times 19^2) = 283,5 \text{ mm}^2$
Tinggi stud = 100 mm
Jarak melintang antara stud = 130 mm
 $F_u \text{ stud} = 500 \text{ MPa}$
- Kekuatan 1 stud
 $Q_n = 0,5 \times A_{sc} \times (f'_c \times E_c)^{1/2} \times \pi s < A_{sc} \times f_u$
 $\rightarrow E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,5$
 $\pi s = 1 \text{ untuk beton biasa}$
 $Q_n = 0,5 \times 283,5 \times (35 \times 4700\sqrt{35}) \times 1 < 283,5 \times 500$
 $Q_n = 139.835 \text{ N} < 141.629,5 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$
- Jumlah dan jarak shear connector
Jumlah (n) = $V_u/Q_n \rightarrow V_u = C \text{ komposit} = 7,14 \times 10^6 \text{ N}$
 $n = 7,14 \times 10^6 / 139.835 = 51,06 \approx 52 \text{ buah}$
52 buah shear connector dipasang pada setengah bentang gelagar melintang.
Shear connector dipasang 2 baris pada penampang gelagar melintang, maka sepanjang gelagar melintang terdapat 52 buah shear connector.
Jarak = $1200/52 = 23,07 \text{ cm} \approx 23 \text{ cm}$
Dipasang 52 buah shear connector dengan jarak melintang 23 cm.



Gambar 4.26 Pemasangan Shear Connector

4.4.6 Sambungan Gelagar Melintang – Main Girder

Data perencanaan sambungan:

- Pelat siku penyambung : L 80 x 80 x 8, $f_u = 550$ MPa
- \varnothing baut = 16 mm (ASTM A325), $f_u^b = 825$ MPa
- \varnothing lubang = 16 mm + 1,5 = 17,5 mm (lubang dibor)
- $m = 2 \rightarrow 2$ pelat siku = 2 bidang geser

a. Kekuatan ijin 1 baut:

- Kekuatan geser (V_d)

$$V_d = \varnothing \times m \times r_l \times f_u^b \times A_b$$

$$V_d = 0,75 \times 2 \times 0,4 \times 8250 \times (0,25 \times \pi \times 1,6^2)$$

$$V_d = 9949,5 \text{ kg} = 99,5 \text{ kN}$$

- Kekuatan tumpu (R_n)

$$R_n = \varnothing \times 2,4 \times d_{\text{baut}} \times t_{\text{tapi}} \times f_u$$

$$R_n = 0,75 \times 2,4 \times 1,6 \text{ cm} \times 0,8 \text{ cm} \times 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_n = 11.520 \text{ kg} = 115,2 \text{ kN}$$

Dipilih nilai terkecil antara kekuatan geser dan tumpu, yaitu 99,5 kN.

Gaya yang bekerja pada sambungan gelagar memanjang yaitu gaya reaksi pada tumpuan (V_u) sebesar 960,95 kN.

b. Jumlah baut (n) = V_u/V_d

$$n = 960,95 \text{ kN} / 99,5 \text{ kN} = 9,6 \text{ baut} \approx 10 \text{ baut}$$

c. Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=1,6 \text{ cm}$)
 $3d \leq S \leq 15t_p$
 $4,8 \text{ cm} \leq S < 12 \text{ cm}$
 S diambil 5 cm .
- Jarak baut ke tepi sambungan
 $1,5d < S < (4t_p+100)$ atau 200mm
 $2,4 \text{ cm} < S < 13,2 \text{ cm}$ atau 20 cm
 S diambil 3 cm .

d. Kontrol pelat siku $\rightarrow L 80 \times 80 \times 8$

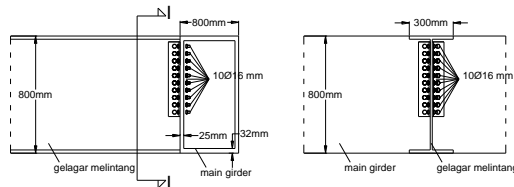
- Luas geser ($A_{nv} = L_{nv} \times t_L$)
 $A_{nv} = (L - n \cdot d_1) \times t_L$
 $A_{nv} = (160 - 3 \times 17,5) \times 8$
 $A_{nv} = 860 \text{ mm}^2 = 8,6 \text{ cm}^2$
- Kuat geser rencana
 $\phi V_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv}$
 $\phi V_n = 0,6 \times 5000 \times 8,6$
 $\phi V_n = 25.800 \text{ kg} = 258 \text{ kN}$

Karena memakai 2 siku, maka:

$$2 \times \phi V_n = 2 \times 258 \text{ kN} = 516 \text{ kN}$$

$$V_u < \phi V_n$$

$$292,5 \text{ kN} < 516 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$



Gambar 4.27 Sambungan Gelagar Melintang Dengan Main Girder

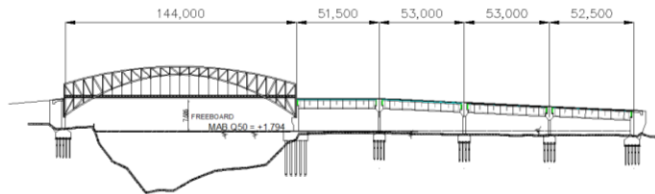
Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR JEMBATAN

5.1 Rencana Modifikasi Jembatan

Perencanaan modifikasi jembatan Sembayat Baru II menggunakan konstruksi busur rangka baja dengan kedudukan lantai ditengah. Konstruksi jembatan juga menggunakan batang tarik yang berfungsi menahan beban lateral.



Gambar 5.1 Potongan Memanjang Jembatan Sembayat Baru II

Konstruksi busur merupakan pemikul utama untuk menyalurkan beban yang diterima dari lantai kendaraan ke perletakan. Bentuk busur didesain menggunakan pendekatan geometrik busur sebagai persamaan parabola.

Data jembatan busur:

- Tinggi fokus busur : 26 meter
- Tinggi tampang rangka : 5 meter
- Lebar jembatan : 12 meter

Sistem pemikul utama pada jembatan busur terdiri dari:

1. Batang penggantung (*hanger*)
Hanger merupakan elemen penghubung antara lantai kendaraan dengan struktur busur. Fungsi lainnya yaitu sebagai penggantung lantai kendaraan.

2. Struktur busur

Struktur busur sendiri mempunyai keuntungan yaitu dengan adanya geometri busur akan terjadi pengurangan momen lapangan akibat gaya reaksi horisontal pada perletakan.

5.1.1 Pembebanan Jembatan

a. Beban mati

- Pelat lantai kendaraan

$$q_{D1} = t \times \gamma \times \lambda \times K_{MS}^U$$

$$q_{D1} = 0,2\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \times 6\text{m} \times 1,3 = 3744 \text{ kg/m}$$

$$P_{D1} = q_{D1} \times 9\text{m} \times \frac{1}{2} \text{ bentang}$$

$$P_{D1} = 3744 \text{ kg/m} \times 9 \text{ m} \times \frac{1}{2} = 16.848 \text{ kg}$$
- Aspal

$$q_{D2} = t \times \gamma \times \lambda \times K_{MS}^U$$

$$q_{D2} = 0,05\text{m} \times 2200\text{kg/m}^3 \times 6\text{m} \times 1,3 = 858 \text{ kg/m}$$

$$P_{D2} = q_{D2} \times 9\text{m} \times \frac{1}{2} \text{ bentang}$$

$$P_{D2} = 858 \text{ kg/m} \times 9 \text{ m} \times \frac{1}{2} = 3.861 \text{ kg}$$
- Pelat trotoar

$$= t \times \gamma \times \lambda \times K_{MS}^U$$

$$= 0,2\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \times 6\text{m} \times 1,3 = 3744 \text{ kg/m}$$
- Pedestrian

$$= 500\text{kg/m}^2 \times \lambda$$

$$= 500\text{kg/m}^2 \times 6\text{m} = 3000 \text{ kg/m}$$

$$q_{D3} = 3744 \text{ kg/m} + 3000 \text{ kg/m}$$

$$q_{D3} = 6744 \text{ kg/m}$$

$$P_{D3} = q_{D3} \times 1,5\text{m}$$

$$P_{D3} = 6744 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ m} = 10.116 \text{ kg}$$
- Gelagar memanjang

$$P_{D4} = w \times n \times \lambda \times K_{MS}^U \times \frac{1}{2} \rightarrow n = 10 \text{ buah}$$

$$P_{D4} = 89,65\text{kg/m} \times 10 \times 6\text{m} \times 1,1 \times \frac{1}{2} = 2958,45\text{kg}$$
- Gelagar melintang

$$P_{D5} = w \times b \times K_{MS}^U \times \frac{1}{2}$$

$$P_{D5} = 191\text{kg/m} \times 12\text{m} \times 1,1 \times \frac{1}{2} = 1.260,6 \text{ kg}$$

$$P_{Dtotal} = 16.848 + 3.861 + 10.116 + 2.958,45 + 1.260,6$$

$$P_{Dtotal} = 35.044,05 \text{ kg} = 350,4 \text{ kN}$$

Beban mati diinputkan kedalam pemodelan sebagai beban titik pada bagian bawah batang penggantung (*hanger*).

b. Beban hidup

- UDL $\rightarrow L = 144 \text{ m}$
 $= L > 30 \text{ m} = q = 9 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$
 $= 9 \times (0,5 + 15/144) \text{ kPa}$
 $= 5,437 \text{ kPa} = 5,437 \text{ kN/m}^2$

$$q_{UDL} = q \times \lambda \times K_{TD}^U$$

$$q_{UDL} = 543,7 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} \times 2$$

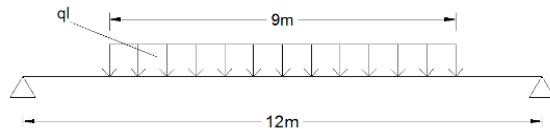
$$q_{UDL} = 6516 \text{ kg/m} = 65,16 \text{ kN/m}$$

- KEL $\rightarrow P = 49 \text{ kN/m}$, DLA = 30%
 $q_{KEL} = P \times (1 + DLA) \times K_{TD}^U$
 $q_{KEL} = 49 \text{ kN/m} \times (1 + 0,3) \times 2$
 $q_{KEL} = 127,4 \text{ kN/m}$

$$q_L = q_{UDL} + q_{KEL}$$

$$q_L = 65,16 \text{ kN/m} + 127,4 \text{ kN/m}$$

$$q_L = 192,5 \text{ kN/m}$$



Gambar 5.2 Pembebanan UDL dan KEL

$$V_a = R_a$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \times 12 = (q_L \times 9 \times 6)$$

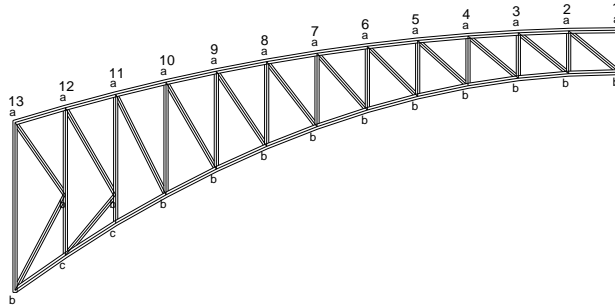
$$R_A \times 12 = (192,5 \times 9 \times 6)$$

$$R_A \times 12 = 10.395$$

$$R_A = 10.395/12 = 866,25 \text{ kN}$$

c. Beban angin

- Beban angin pada struktur
Beban angin (P_D) ditentukan berdasarkan elevasi titik buhul dimana beban angin bekerja.



Gambar 5.3 Penentuan Titik Buhul

Nilai beban angin tiap buhul seperti pada tabel berikut.

Tabel 5.1 Perhitungan Beban Angin Terhadap Struktur

Titik	Z titik (mm)	VDz (km/jam)	PD tekan (MPa)	PD hisap (MPa)	A buhul (m ²)	P tekan (kN)	P hisap (kN)
1a	39416	161.66	627.24	313.62	6.53	40.93	20.47
1b	34416	155.69	581.78	290.89	11.45	66.63	33.31
2a	39340	161.58	626.58	313.29	9.03	56.56	28.28
2b	34235	155.46	580.05	290.02	9.03	52.37	26.19
3a	39110	161.32	624.58	312.29	9.16	57.20	28.60
3b	33694	154.76	574.83	287.42	9.25	53.19	26.60
4a	38729	160.89	621.25	310.63	9.40	58.37	29.18
4b	32791	153.57	565.99	282.99	9.59	54.28	27.14
5a	38194	160.28	616.54	308.27	9.85	60.72	30.36
5b	31527	151.84	553.31	276.65	10.10	55.90	27.95

Titik	Z titik (mm)	VDz (km/jam)	PD tekan (MPa)	PD hisap (MPa)	A buhul (m2)	P tekan (kN)	P hisap (kN)
6a	37506	159.48	610.40	305.20	10.33	63.06	31.53
6b	29902	149.51	536.47	268.23	10.77	57.78	28.89
7a	36666	158.48	602.79	301.40	11.11	66.99	33.49
7b	27916	146.48	514.99	257.49	11.60	59.73	29.86
8a	35673	157.27	593.64	296.82	11.91	70.71	35.36
8b	25569	142.62	488.18	244.09	12.63	61.63	30.82
9a	34527	155.84	582.84	291.42	13.12	76.49	38.24
9b	22860	137.69	455.03	227.51	13.77	62.63	31.32
10a	33229	154.15	570.30	285.15	14.09	80.35	40.17
10b	19791	131.35	414.07	207.03	15.09	62.49	31.25
11a	31777	152.18	555.84	277.92	13.92	77.37	38.68
11b	19791	131.35	414.07	207.03	13.21	54.71	27.35
11c	16410	123.11	363.73	181.86	6.55	23.82	11.91
12a	30173	149.91	539.32	269.66	12.88	69.46	34.73
12b	19791	131.35	414.07	207.03	14.88	61.60	30.80
12c	12569	111.37	297.70	148.85	11.12	33.11	16.56
13a	28416	147.27	520.49	260.25	14.29	74.35	37.18
13b	8416	93.73	210.83	105.41	11.16	23.52	11.76

- **Beban angin pada kendaraan**
 Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 9.6.1.2.
 Besarnya beban angin pada kendaraan sebesar 1,46N/mm dan bekerja 1800mm diatas permukaan jalan.
 Perhitungan beban angin pada kendaraan yaitu:
 $1,46\text{N/mm} \times 1000\text{mm} \times 1800\text{mm} = 2.628.000 \text{ N.mm}$
 $= 2,628 \text{ kN.m}$

Beban angin pada kendaraan berupa momen yang ditransfer pada gelagar melintang tiap segmen jembatan.

d. Beban temperatur

Menurut SNI 1725-2016 Pasal 9.3.1.1, Tabel 18, besarnya temperatur untuk lantai beton diatas gelagar, boks, atau rangka baja yaitu:

- Temperatur jembatan minimum: 15°C
- Temperatur jembatan maksimum: 40°C

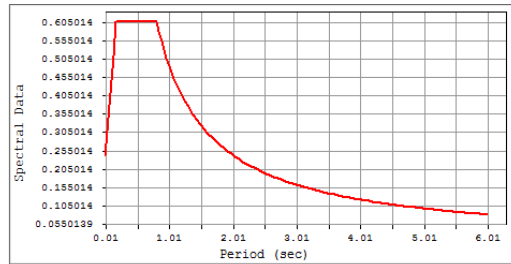
e. Beban gempa

Dalam input pembebanan pada software MIDAS Civil, pembebanan gempa cukup memasukkan grafik respon spektrum.

Respon spektrum yang diinput berdasarkan RSNI 2833-201X, dimana kota Gresik memiliki karakteristik sebagai berikut:

PGA	= 0,319 g	F _{PGA}	= 1,143
S _s	= 0,655 g	F _A	= 1,39
S ₁	= 0,241 g	F _V	= 3,035
C _{RS}	= 0,991	S _{MS}	= 0,91 g
C _{R1}	= 0,934	S _{M1}	= 0,732 g
PSA	= 0,365 g	S _{DS}	= 0,607 g
T ₀	= 0,161 detik	S _{D1}	= 0,488 g
T _s	= 0,804 detik		

Respon spektrum gempa yang diinput yaitu:



Gambar 5.4 Grafik Respon Spektrum Gempa

- Koefisien respons gempa elastik
Nilai koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X Ps. 5.4.2.

Diketahui:

$$T_{\text{output Midas}} = 2,67 \text{ s}$$

$$T_0 = 0,161 \text{ s}$$

$$T_s = 0,804 \text{ s}$$

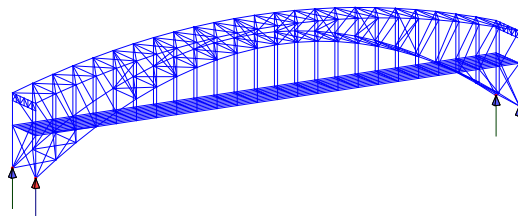
$T_{\text{output MIDAS}} > T_s$, maka digunakan persamaan ke 3 pada RSNI 2833-201X Ps. 5.4.2.

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,488}{2,67} = 0,18277$$

- Base Shear total jembatan

$$V_{\text{statik}} = \frac{C_{sm}}{R} W_t$$

W_t = Berat total struktur yang didapat dari reaksi vertikal jembatan yang dihitung berdasarkan berat sendiri jembatan.



Gambar 5.5 Reaksi Vertikal Jembatan

$$\text{Total } W_t = 30.033,52 \text{ kN}$$

- Base Shear arah X

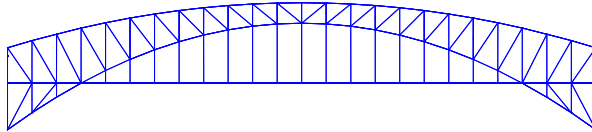
$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= \frac{C_{sm}}{R} W_t \\ &= \frac{0,18277}{2} \times 30.033,52 = 2.744,61 \text{ kN} \\ 0,85 V_{\text{statik}} &= 0,85 \times 2.744,61 \text{ kN} = 2.332,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Base Shear arah Y

$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= \frac{C_{sm}}{R} W_t \\ &= \frac{0,18277}{3} \times 30.033,52 = 1.829,74 \text{ kN} \\ 0,85 V_{\text{statik}} &= 0,85 \times 1.829,74 \text{ kN} = 1.555,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

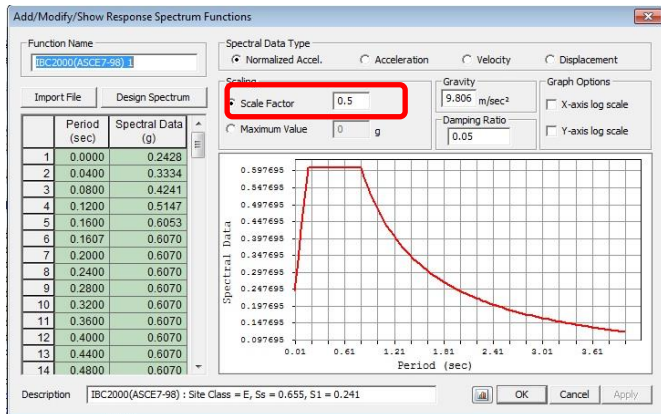
- Kontrol pengaruh gempa arah x

Pada bangunan atas jembatan pengaruh gempa harus direduksi, untuk gempa pada struktur jembatan arah X memiliki faktor modifikasi respons (R) yang lebih kecil dari gempa pada struktur jembatan arah Y, hal ini terjadi karena pada arah longitudinal tidak boleh ada struktur yang leleh.



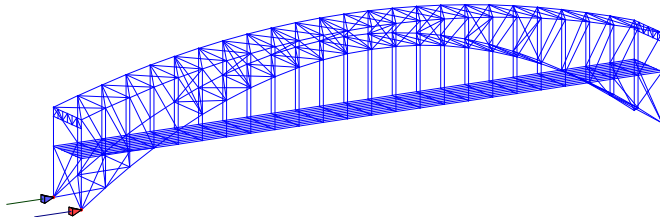
Gambar 5.6 Jembatan Arah Longitudinal (X)

Pada arah X diambil nilai $R = R_{\text{statik}} = 2$, sehingga pada respons spektrum MIDAS nilai *scale factor* diubah menjadi $\frac{1}{2} = 0,5$.



Gambar 5.7 Input Respon Spektrum Arah X

Nilai V_{dinamik} akibat gempa arah X merupakan total dari reaksi geser arah X pada semua perletakan.

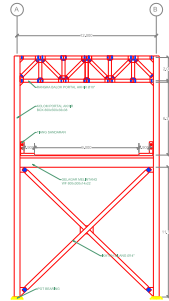


Gambar 5.8 Reaksi Gaya Geser Arah X

Didapat nilai V dinamik sebesar 7.773,96 kN
 $0,85 V_{\text{statik X}} < V_{\text{dinamik X}}$
 $2.332,92 \text{ kN} < 7.773,96 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$

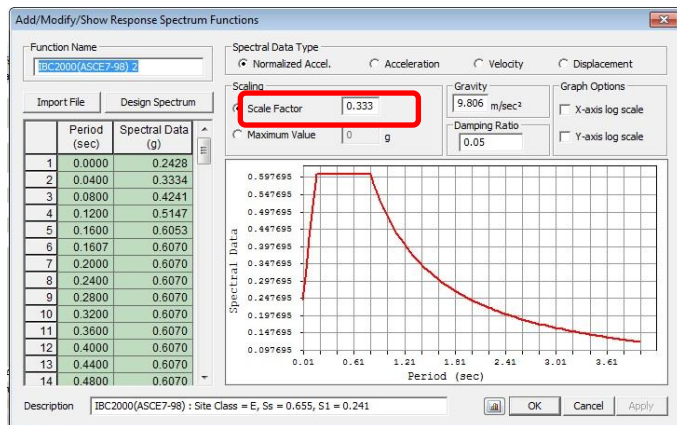
- Kontrol pengaruh gempa arah y
 Pada bangunan atas jembatan pengaruh gempa harus direduksi, untuk gempa pada struktur jembatan arah Y memiliki faktor modifikasi respons (R) yang lebih besar dari gempa pada

struktur jembatan arah X, hal ini terjadi karena pada arah transversal diperbolehkan ada struktur yang leleh.



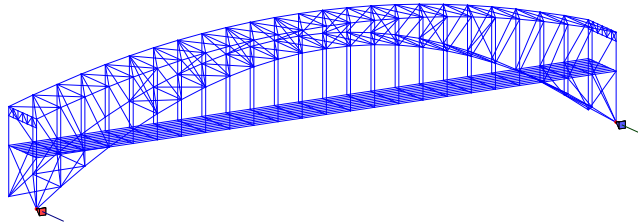
Gambar 5.9 Jembatan Arah Transversal (Y)

Pada arah Y diambil nilai $R = 3$, sehingga pada respons spektrum MIDAS nilai *scale factor* diubah menjadi $1/3 = 0,333$.



Gambar 5.10 Input Respon Spektrum Arah Y

Nilai V_{dinamik} akibat gempa arah Y merupakan total dari reaksi geser arah Y pada semua perletakan.



Gambar 5.11 Reaksi Gaya Geser Arah Y

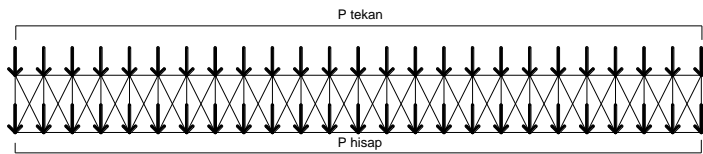
Didapat nilai V dinamik sebesar 7.697,83 kN
 $0,85 V_{\text{statik X}} < V_{\text{dinamik Y}}$
 $1.555,28 \text{ kN} < 7.697,83 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$

- f. Kombinasi pembebanan
 Kombinasi pembebanan dalam pemodelan merujuk pada SNI 1725-2016 Tabel 1, dimana kombinasi yang diinput hanya beban yang diperhitungkan saja. Kombinasi yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 5.2 Kombinasi Pembebanan

Comb.	Faktor Beban					
	DL	LL	EW _s	EW _L	ET	EQ
1	1	2	-	-	0,5	-
2	1	-	1,4	-	0,5	-
3	1	-	0,4	1	0,5	-
4	1	0,5	-	-	-	1
5	1	1	0,3	1	1,2	-

5.2 Perencanaan Ikatan Angin Atas



Gambar 5.12 Ikatan Angin Atas

Pembebanan pada perencanaan ikatan angin didasarkan pada perhitungan beban angin pada sesuai SNI 1725-2016 Pasal 9.6, tentang pembebanan angin. Untuk perencanaan ikatan angin atas, beban angin yang diinput hanya beban angin atas (a) saja.

Tabel 5.3 Beban Angin Pada Ikatan Angin Atas

Titik	P tekan (kN)	P hisap (kN)
1	40.93	20.47
2	56.56	28.28
3	57.20	28.60
4	58.37	29.18
5	60.72	30.36
6	63.06	31.53
7	66.99	33.49

Titik	P tekan (kN)	P hisap (kN)
8	70.71	35.36
9	76.49	38.24
10	80.35	40.17
11	77.37	38.68
12	69.46	34.73
13a	74.35	37.18

5.2.1 Hasil Analisa

Dalam perencanaan ikatan angin atas, digunakan bantuan software Midas Civil 2011. Hasil gaya batang maksimum didapat dari kombinasi 2 yaitu:

Tabel 5.4 Tabel Gaya Batang Ikatan Angin Atas

Fra me	Axial (kN)	Shear (kN)	Torsi (kN.m)	Momen x (kN.m)	Momen y (kN.m)
603	-1.064,34	-14,82	-0,34	-17,41	-27,59

5.2.2 Kontrol Penampang

Digunakan profil pipa Ø16” dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 D &= 406,4 \text{ mm} & t &= 7,9 \text{ mm} \\
 A &= 98,9 \text{ cm}^2 & w &= 77,64 \text{ kg/m} \\
 I &= 19.630,09 \text{ cm}^4 & i &= 14,09 \text{ cm} \\
 S_x &= 966.04 \text{ cm}^3 & Z_x &= 1.254,7 \text{ cm}^3 \\
 f_y &= 410 \text{ MPa} & f_u &= 550 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Kontrol batang tekan
Cek dimensi flens untuk menghindari terjadinya lokal buckling.

$$\frac{D}{t} = \frac{406,4}{7,9} = 51,44$$

$$\lambda_R = 0,11 \frac{E}{f_y} = 0,11 \frac{210000}{410} = 56,34$$

$$\frac{D}{t} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Batasan kelangsingan untuk struktur tekan yaitu:

$$\frac{k.l_x}{i_x} < 200 \rightarrow k = 1,0$$

$$\begin{aligned}
 l &= \text{panjang tekuk} = 13.416 \text{ mm} \\
 i_x &= 140,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{13.416}{140,9} < 200 = 95,2 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$4,71\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71\sqrt{\frac{210.000}{410}} = 106,6$$

$$\frac{k.l_x}{i_x} < 4,71\sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka: } F_{cr} = \left(0,658^{\frac{f_y}{f_{fe}}}\right)f_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k.l}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210.000}{95,2^2} = 228,68$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{410}{228,68}}\right)410 = 193,58 \text{ MPa}$$

Kekuatan nominal:

$$\begin{aligned} N_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 1.935,8 \text{ kg/cm}^2 \times 98,9 \text{ cm}^2 \\ &= 191.450,62 \text{ kg} \\ &= 1.914,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi N_n = 0,9 \times 1.914,5 \text{ kN} = 1.723,05 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq N_n$$

$$1.064,34 \text{ kN} \leq 1.723,05 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Flexural Buckling*

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{406,4}{7,9} = 51,44$$

$$\lambda_R = \frac{0,45.E}{f_y} = \frac{0,45 \times 210.000}{410} = 230$$

Penampang kompak ($\lambda < \lambda_R$), maka:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} M_n &= 1.254,7 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 5.144.270 \text{ kg.cm} \\ &= 514,42 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 514,42 \text{ kN.m} \\ &= 462,97 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Maka:

$$M_u \leq M_n$$

$$17,41 \text{ kN.m} \leq 462,97 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T \cdot T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$F_{cr}(1) = \frac{1,23 \cdot E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{5/4}}} = \frac{1,23 \times 210.000}{\sqrt{\frac{13.416}{406,4} \left(\frac{406,4}{7,9} \right)^{5/4}}}$$

$$= 3.830,1 \text{ MPa}$$

$$F_{cr}(2) = \frac{0,60 \cdot E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} = \frac{0,60 \times 210.000}{\left(\frac{406,4}{7,9} \right)^{3/2}}$$

$$= 341,5 \text{ MPa}$$

$$F_{cr}(1) \text{ dan } F_{cr}(2) > 0,6 \cdot f_y$$

Maka: $F_{cr} = 0,6 \cdot f_y$

$$C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2} = \frac{\pi(406,4-7,9)^2 \times 7,9}{2}$$

$$= 1.970.623,34 \text{ mm}^3$$

$$= 1.970,62 \text{ cm}^3$$

$$T_n = 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 1.970,62 \text{ cm}^3$$

$$= 4.847.725,2 \text{ kg.cm}$$

$$= 484,7 \text{ kN.m}$$

$$\phi_T \cdot T_n = 0,9 \times 484,7 \text{ kN.m}$$

$$= 436,23 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T \cdot T_n$$

$$0,34 \text{ kN.m} \leq 436,23 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = F_{cr} \cdot A_g / 2$$

$$F_{cr} (1) = \frac{1,6 \cdot E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{5/4}}} \rightarrow L_v = L = 13.416 \text{ mm}$$

$$= \frac{1,6 \times 210.000}{\sqrt{\frac{13.416}{406,4} \left(\frac{406,4}{7,9} \right)^{5/4}}} = 4.982,25 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} (2) = \frac{0,78 \cdot E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} = \frac{0,78 \times 210.000}{\left(\frac{406,4}{7,9} \right)^{3/2}}$$

$$= 443,93$$

$$F_{cr} (1) \text{ dan } F_{cr} (2) > 0,6 \cdot f_y$$

$$\text{Maka: } F_{cr} = 0,6 \cdot f_y$$

$$V_n = 0,6 \times 4100 \times 98,9/2$$

$$= 121.647 \text{ kg}$$

$$= 1.216,47 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 1.216,47 \text{ kN}$$

$$= 1.094,82 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$14,82 \text{ kN} \leq 1.094,82 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{0,34}{436,23} = 0,0008 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{1.064,34}{1.723,05} = 0,61 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 1.254,7 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 5.144.270 \text{ kg.cm} \\ &= 514,42 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,85 \times 514,42 \text{ kN.m} \\ &= 437,25 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\frac{1.064,34}{1.723,05} + \frac{8}{9} \left(\frac{17,41}{437,25} + \frac{27,59}{437,25} \right) < 1,0$$

$$0,7 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

5.2.3 Sambungan Ikatan Angin Atas

a. Sambungan Baut

Gaya maksimum yang bekerja pada segmen ini yaitu:

$$P_u = 1.064,34 \text{ kN}$$

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

$$\phi \text{ baut} = 27 \text{ mm} \quad \text{proof stress} = 585 \text{ MPa}$$

$$f_u \text{ baut} = 825 \text{ MPa}$$

tebal pelat yang digunakan = 19 mm

- Kekuatan ijin 1 baut

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load}$$

$$\begin{aligned} \text{Proof load} &= 0,75 \times A_b \times \text{proof stress} \\ &= 0,75 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 2,7^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 25.120,86 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\mu = \text{koefisien gesek} = 0,35$$

$$m = \text{bidang geser} = 2$$

$$\begin{aligned} V_n &= 1,13 \times 0,35 \times 2 \times 25.120,86 \text{ kg} \\ &= 19.870,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &= \phi \times V_n \rightarrow \phi = 1,0 \text{ untuk lubang standar} \\ &= 1 \times 19.870,6 \text{ kg} \\ &= 19.870,6 \text{ kg} = 198,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Jumlah baut

$$\frac{P_u}{V_d} = \frac{1.064,34 \text{ kN}}{198,7 \text{ kN}} = 5,35 \text{ baut} \approx 6 \text{ baut}$$

- Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=2,7 \text{ cm}$)

$$3d < S < 15t_p$$

$$8,1 \text{ cm} < S < 15 \text{ cm}$$

S diambil 10 cm.

- Jarak baut ke tepi sambungan

$$1,5d < S < (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$4,05 \text{ cm} < S < 30 \text{ cm atau } 20 \text{ cm}$$

S diambil 5 cm.

- b. Sambungan Las

$$V_u = 14,82 \text{ kN} = 14.820 \text{ N}$$

$$M_u = 17,41 \text{ kN.m} = 17,41 \times 10^4 \text{ N.mm}$$

$$L_w = 300 \text{ mm}$$

$$f'_y = \frac{V_u}{A} = \frac{14.820 \text{ N}}{2 \times 1 \times 300 \text{ mm}} = 24,7 \text{ N/mm}$$

$$I_x = 2 \times \frac{1 \times 300^3}{12} = 4,5 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

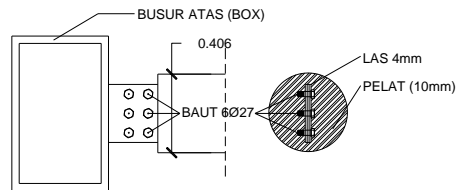
$$f''_x = \frac{M_u \cdot c}{I_x} = \frac{17,41 \times 10^4 \times 150}{4,5 \times 10^6} = 582 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n \text{ perlu} &= \sqrt{f'^2_y + f''^2_x} \\ &= \sqrt{24,7^2 + 582^2} \\ &= 582,5 \text{ N/mm} \rightarrow \text{untuk } 1 \text{ mm las} \end{aligned}$$

Tahanan las:

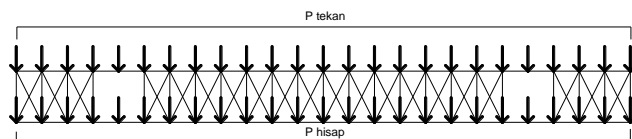
$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi T_e 0,6 f_{u_w} \\ &= 0,75 \times 0,707 a \times 0,6 \times 490 = 155,89 a \end{aligned}$$

$$a \text{ perlu} = \frac{582,5}{155,89} = 3,7 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$$



Gambar 5.13 Sambungan Ikatan Angin Atas

5.3 Perencanaan Ikatan Angin Bawah



Gambar 5.14 Ikatan Angin Bawah

Pembebanan pada perencanaan ikatan angin didasarkan pada perhitungan beban angin pada sesuai SNI 1725-2016 Pasal 9.6, tentang pembebanan angin. Untuk perencanaan ikatan angin atas, beban angin yang diinput hanya beban angin bawah (b) saja.

Tabel 5.5 Beban Angin Pada Ikatan Angin Bawah

Titik	P tekan (kN)	P hisap (kN)
1	66.63	33.31
2	52.37	26.19
3	53.19	26.60
4	54.28	27.14
5	55.90	27.95
6	57.78	28.89
7	59.73	29.86

Titik	P tekan (kN)	P hisap (kN)
8	61.63	30.82
9	62.63	31.32
10	62.49	31.25
11	23.82	11.91
12	33.11	16.56
13	23.52	11.76

5.3.1 Hasil Analisa

Dalam perencanaan ikatan angin atas, digunakan bantuan software Midas Civil 2011. Hasil gaya batang maksimum didapat dari kombinasi 2 yaitu:

Tabel 5.6 Tabel Gaya Batang Ikatan Angin Atas

Frame	Axial (kN)	Shear (kN)	Torsi (kN.m)	Momen x (kN.m)	Momen y (kN.m)
679	-3.078,5	-73,08	8,64	-195,02	-380,56
603	4.382,73	-57,58	3,54	-122,59	-316,05

5.3.2 Kontrol Penampang

- a. Frame 679 (Bagian atas)

Pada perencanaan ikatan angin bawah, digunakan profil pipa Ø24” dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$D = 609,6 \text{ mm}$$

$$t = 12 \text{ mm}$$

$$A = 225,28 \text{ cm}^2$$

$$w = 176,84 \text{ kg/m}$$

$$I = 100.611,58 \text{ cm}^4$$

$$i = 21,13 \text{ cm}$$

$$S_x = 3.300,9 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 4.286,08 \text{ cm}^3$$

$$f_y = 290 \text{ MPa}$$

$$f_u = 500 \text{ MPa}$$

- Kontrol batang tekan

Cek dimensi flens untuk menghindari terjadinya lokal buckling.

$$\frac{D}{t} = \frac{609,6}{12} = 50,8$$

$$\lambda_R = 0,11 \frac{E}{f_y} = 0,11 \frac{210000}{410} = 56,34$$

$$\frac{D}{t} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Batasan kelangsingan untuk struktur tekan yaitu:

$$\frac{k.l_x}{i_x} < 200 \rightarrow k = 1,0$$

$$l = \text{panjang tekuk} = 13.416 \text{ mm}$$

$$i_x = 211,3 \text{ mm}$$

$$\frac{13.416}{211,3} < 200 = 63,5 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 106,6$$

$$\frac{k.l_x}{i_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka: } F_{cr} = \left(0,658^{\frac{f_y}{f_{te}}} \right) f_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k.l}{i} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210.000}{63,5^2} = 514,01$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{410}{514,01}} \right) 410 = 293,62 \text{ MPa}$$

Kekuatan nominal:

$$\begin{aligned} N_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 2.936,2 \text{ kg/cm}^2 \times 225,28 \text{ cm}^2 \\ &= 661.467,13 \text{ kg} \\ &= 6.614,67 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi N_n = 0,9 \times 6.614,67 \text{ kN} = 5.953,2 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq N_n$$

$$3.078,5 \text{ kN} \leq 5.953,2 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Flexural Buckling*

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{609,6}{12} = 50,8$$

$$\lambda_R = \frac{0,45.E}{f_y} = \frac{0,45 \times 210.000}{410} = 230$$

Penampang kompak ($\lambda < \lambda_R$), maka:

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p = Z_x \cdot f_y \\
 M_n &= 4.286,08 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 17.572.928 \text{ kg.cm} \\
 &= 1.757,2 \text{ kN.m} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 1.757,2 \text{ kN.m} \\
 &= 1.581,48 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$M_u \leq M_n$$

$$195,02 \text{ kN.m} \leq 1.581,48 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} (1) &= \frac{1,23 \cdot E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{5/4}}} = \frac{1,23 \times 210.000}{\sqrt{\frac{13.416}{609,6} \left(\frac{609,6}{12} \right)^{5/4}}} \\
 &= 4.727,92 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} (2) &= \frac{0,60 \cdot E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} = \frac{0,60 \times 210.000}{\left(\frac{609,6}{12} \right)^{3/2}} \\
 &= 347,99 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$F_{cr} (1) \text{ dan } F_{cr} (2) > 0,6 \cdot f_y$$

Maka: $F_{cr} = 0,6 \times f_y$

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\pi(D-t)^2 t}{2} = \frac{\pi(609,6-12)^2 \times 12}{2} \\
 &= 6.731.661,98 \text{ mm}^3 \\
 &= 6.731,6 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_n &= 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 6.731,6 \text{ cm}^3 \\
 &= 16.559.736 \text{ kg.cm} \\
 &= 1.655,9 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_T T_n &= 0,9 \times 1.655,9 \text{ kN.m} \\
 &= 1.490,31 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T \cdot T_n$$

$$8,64 \text{ kN.m} \leq 1.490,31 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = F_{cr} \cdot A_g / 2$$

$$F_{cr} (1) = \frac{1,6 \cdot E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{5/4}}} \rightarrow L_v = L = 13.416 \text{ mm}$$

$$= \frac{1,6 \times 210.000}{\sqrt{\frac{13.416}{609,6} \left(\frac{609,6}{12} \right)^{5/4}}} = 6.150,14 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} (2) = \frac{0,78 \cdot E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} = \frac{0,78 \times 210.000}{\left(\frac{609,6}{12} \right)^{3/2}}$$

$$= 452,39 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} (1) \text{ dan } F_{cr} (2) > 0,6 \cdot f_y$$

Maka: $F_{cr} = 0,6 \cdot f_y$

$$V_n = 0,6 \times 4100 \times 225,28/2$$

$$= 277.094,4 \text{ kg}$$

$$= 2.770,94 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 2.770,94 \text{ kN}$$

$$= 2.493,8 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$73,08 \text{ kN} \leq 2.493,8 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{8,64}{1.490,31} = 0,005 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{3.078,5}{5.953,2} = 0,51 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 4.286,08 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 17.572.928 \text{ kg.cm} \\ &= 1.757,2 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,85 \times 1.757,2 \text{ kN.m} \\ &= 1.493,62 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\frac{3.078,5}{6.614,67} + \frac{8}{9} \left(\frac{195,02}{1.493,62} + \frac{380,56}{1.493,62} \right) < 1,0$$

$$0,85 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

- b. Frame 603 (Bagian bawah)

Profil yang dipakai: Box 500x300x16x25

A = 294 cm ²	w = 230,79 kg/m
i _x = 19,25 cm	i _y = 11,7 cm
I _x = 108.987,5 cm ⁴	I _y = 40.316,8 cm ⁴
Z _x = 5.182,5 cm ³	Z _y = 3.196,8 cm ³
f _y = 410 MPa	f _u = 550 MPa

- Kontrol batang tarik

Kontrol kelangsingan sebagai batang tarik:

$$\lambda_{\min} = \frac{kL}{i_{\min}} \leq 300 \rightarrow L = 13.416 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{1 \times 13.416}{192,5} = 69,69 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan leleh:

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 294 \text{ cm}^2 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1.084.860 \text{ kg} = 10.848,6 \text{ kN}\end{aligned}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$4.382,73 \text{ kN} \leq 10.848,6 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan patah:

$$\begin{aligned}A_n &= 85\% \times A_g \\ &= 85\% \times 294 \text{ cm}^2 \\ &= 249,9 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$A_e = A_n \times U \rightarrow U = 1$$

$$A_e = 249,9 \text{ cm}^2 \times 1 = 249,9 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 249,9 \text{ cm}^2 \times 5500 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1.030.837,5 \text{ kg} = 10.308,3 \text{ kN}\end{aligned}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$4.382,73 \text{ kN} \leq 10.308,3 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Flexural Buckling

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{500}{2 \times 25} = 10$$

$$\lambda_R = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{410}} = 30,86$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300 - (2 \times 25)}{16} = 15,62$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{410}} = 32,84$$

Penampang kompak \rightarrow Analisa plastis

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= 5.182,5 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\
 Mn &= 21.248.250 \text{ kg.cm} = 2.124,8 \text{ kN.m} \\
 \phi Mn &= 0,9 \times 2.124,8 \text{ kN.m} \\
 &= 1.912,32 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$Mu \leq \phi Mn$$

$$122,59 \text{ kN.m} \leq 1.912,32 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Torsional Buckling
Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{250}{16} = 15,62$$

$$2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,45 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 55,44$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka } F_{cr} = 0,6 f_y$$

$$\begin{aligned}
 C &= 2(B-t)(H-t)t-4,5(4-\pi)t^3 \\
 &= 2(500-16) \times (300-25) \times 25 - 4,5(4-\pi) \times 25^3 \\
 &= 6.594.643,23 \text{ mm}^3 \\
 &= 6.594,6 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_n &= 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 6.594,6 \text{ cm}^3 \\
 &= 16.222.716 \text{ kg.cm} \\
 &= 1.622,27 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_T T_n &= 0,9 \times 1.622,27 \text{ kN.m} \\
 &= 1.460,04 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T T_n$$

$$3,54 \text{ kN.m} \leq 1.460,04 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser
Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{250}{16} = 15,62$$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} \rightarrow K_v = 5 \text{ (Untuk penampang box)}$$

$$1,1 \sqrt{\frac{5 \times 210.000}{410}} = 55,66$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} \rightarrow C_v = 1$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times 4100 \times (2 \times 25 \times 1,6) \times 1 \\ &= 196.800 \text{ kg} \\ &= 1.968 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 0,9 \times 1.968 \text{ kN} \\ &= 1.771,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$57,58 \text{ kN} \leq 1.771,2 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{3,54}{1.460,04} = 0,002 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{4.382,73}{10.308,3} = 0,42 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 3.196,8 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 13.106.880 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.310,68 \text{ kN.m} \\
 \emptyset Mn &= 0,85 \times 1.310,68 \text{ kN.m} \\
 &= 1.114,07 \text{ kN.m} \\
 \frac{4.382,73}{10.308,3} + \frac{8}{9} \left(\frac{122,59}{2.124,8} + \frac{316,05}{1.114,07} \right) &< 1,0 \\
 0,72 < 1 &\rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

5.3.3 Sambungan Ikatan Angin Bawah

a. Sambungan baut (Pipa)

Gaya maksimum yang bekerja pada segmen ini yaitu:

$$P_u = 3.078,5 \text{ kN}$$

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

$$\emptyset \text{ baut} = 27 \text{ mm} \quad \text{proof stress} = 585 \text{ MPa}$$

$$f_u \text{ baut} = 825 \text{ MPa}$$

tebal pelat yang digunakan = 10 mm

- Kekuatan ijin 1 baut

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load}$$

$$\text{Proof load} = 0,75 \times A_b \times \text{proof stress}$$

$$= 0,75 \times (0,25 \times \pi \times 2,7^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 25.120,86 \text{ kg}$$

$$\mu = \text{koefisien gesek} = 0,35$$

$$m = \text{bidang geser} = 2$$

$$V_n = 1,13 \times 0,35 \times 2 \times 25.120,86 \text{ kg}$$

$$= 19.870,6 \text{ kg}$$

$$V_d = \emptyset \times V_n \rightarrow \emptyset = 1,0 \text{ untuk lubang standar}$$

$$= 1 \times 19.870,6 \text{ kg}$$

$$= 19.870,6 \text{ kg} = 198,7 \text{ kN}$$

- Jumlah baut

$$\frac{P_u}{V_d} = \frac{3.078,5 \text{ kN}}{198,7 \text{ kN}} = 15,59 \text{ baut} \approx 16 \text{ baut}$$

- Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=2,7 \text{ cm}$)

$$3d < S < 15tp$$

$$8,1 \text{ cm} < S < 15 \text{ cm}$$

S diambil 10 cm.

- Jarak baut ke tepi sambungan
 $1,5d < S < (4tp+100)$ atau 200mm
 $4,05 \text{ cm} < S < 30 \text{ cm}$ atau 20 cm
 S diambil 5 cm.

b. Sambungan Las

$$Vu = 73,08 \text{ kN} = 73.080 \text{ N}$$

$$Mu = 195,02 \text{ kN.m} = 195,02 \times 10^4 \text{ N.mm}$$

$$Lw = 400 \text{ mm}$$

$$f'_y = \frac{Vu}{A} = \frac{73.080 \text{ N}}{2 \times 1 \times 400 \text{ mm}} = 91,35 \text{ N/mm}$$

$$I_x = 2 \times \frac{1 \times 400^3}{12} = 10.666.666,67 \text{ mm}^3$$

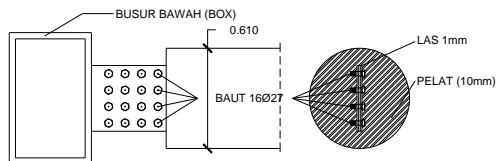
$$f'_x = \frac{Mu.c}{I_x} = \frac{195,02 \times 10^4 \times 200}{10.666.666,67} = 36,56 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n \text{ perlu} &= \sqrt{f'^2_y + f''^2_x} \\ &= \sqrt{91,35^2 + 36,56^2} \\ &= 98,39 \text{ N/mm} \rightarrow \text{untuk 1 mm las} \end{aligned}$$

Tahanan las:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi T_e 0,6 f_{u_w} \\ &= 0,75 \times 0,707a \times 0,6 \times 490 = 155,89a \end{aligned}$$

$$a \text{ perlu} = \frac{98,39}{155,89} = 0,63 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$$



Gambar 5.15 Sambungan Ikatan Angin Bawah (Pipa)

c. Sambungan baut (Box)

Gaya maksimum yang bekerja pada segmen ini yaitu:

$$P_u = 4.382,73 \text{ kN}$$

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

$$\varnothing \text{ baut} = 27 \text{ mm} \quad \text{proof stress} = 585 \text{ MPa}$$

$$f_u \text{ baut} = 825 \text{ MPa}$$

$$\text{tebal pelat yang digunakan} = 19 \text{ mm}$$

- Kekuatan ijin 1 baut

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load}$$

$$\text{Proof load} = 0,75 \times A_b \times \text{proof stress}$$

$$= 0,75 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 2,7^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 25.120,86 \text{ kg}$$

$$\mu = \text{koefisien gesek} = 0,35$$

$$m = \text{bidang geser} = 2$$

$$V_n = 1,13 \times 0,35 \times 2 \times 25.120,86 \text{ kg}$$

$$= 19.870,6 \text{ kg}$$

$$V_d = \varnothing \times V_n \rightarrow \varnothing = 1,0 \text{ untuk lubang standar}$$

$$= 1 \times 19.870,6 \text{ kg}$$

$$= 19.870,6 \text{ kg} = 198,7 \text{ kN}$$

- Jumlah baut

$$\frac{P_u}{V_d} = \frac{4.382,73 \text{ kN}}{198,7 \text{ kN}} = 22,05 \text{ baut} \approx 24 \text{ baut}$$

- Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=2,7 \text{ cm}$)

$$3d < S < 15t_p$$

$$8,1 \text{ cm} < S < 15 \text{ cm}$$

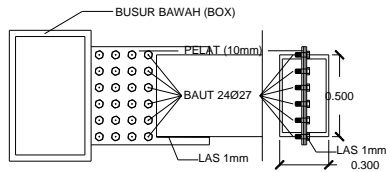
S diambil 10 cm.

- Jarak baut ke tepi sambungan

$$1,5d < S < (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$4,05 \text{ cm} < S < 30 \text{ cm atau } 20 \text{ cm}$$

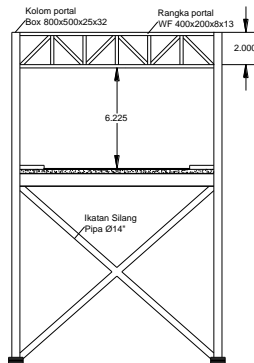
S diambil 5 cm.



Gambar 5.16 Sambungan Ikatan Angin Bawah (Box)

5.4 Perencanaan Ikatan Silang

Batang ikatan silang merupakan kontruksi yang berfungsi untuk menahan keseluruhan kontruksi jembatan dari gaya torsi akibat beban horisontal jembatan.



Gambar 5.17 Ikatan Silang

Ikatan silang ditempatkan pada segmen-segmen tertentu, namun yang ditinjau pada perencanaan ini merupakan ikatan silang yang berada pada bagian ujung-ujung jembatan.

5.4.1 Hasil Analisa

Dalam perencanaan ikatan angin silang, digunakan bantuan software Midas Civil 2011. Hasil gaya batang yang ditinjau maksimum yaitu:

Tabel 5.7 Tabel Gaya Batang Ikatan Silang

Frame	Axial (kN)	Shear (kN)	Torsi (kN.m)	Momen x (kN.m)	Momen y (kN.m)
1423	-517,05	-31,7	-18,10	-137,05	-6,02

5.4.2 Kontrol Penampang

a. Penampang diagonal

Pada perencanaan ikatan angin atas, digunakan profil pipa Ø14" dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 D &= 355,6 \text{ mm} & t &= 7,9 \text{ mm} \\
 A &= 86,3 \text{ cm}^2 & w &= 67,74 \text{ kg/m} \\
 I &= 13.040,82 \text{ cm}^4 & i &= 12,29 \text{ cm} \\
 S_x &= 733,82 \text{ cm}^3 & Z_x &= 955,23 \text{ cm}^3 \\
 f_y &= 410 \text{ MPa} & f_u &= 550 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Kontrol batang tekan

Cek dimensi flens untuk menghindari terjadinya lokal buckling.

$$\frac{D}{t} = \frac{355,6}{7,9} = 10,92$$

$$\lambda_R = 0,11 \frac{E}{f_y} = 0,11 \frac{210000}{410} = 56,34$$

$$\frac{D}{t} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Batasan kelangsingan untuk struktur tekan yaitu:

$$\frac{k \cdot l_x}{i_x} < 200 \rightarrow k = 1,0$$

$$l = \text{panjang tekuk} = 8.267 \text{ mm}$$

$$i_x = 122,9 \text{ mm}$$

$$\frac{1 \times 8.267}{122,9} < 200 = 67,26 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$4,71\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71\sqrt{\frac{210.000}{410}} = 106,6$$

$$\frac{k.l_x}{i_x} < 4,71\sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka: } F_{cr} = \left(0,658^{\frac{f_y}{f_{te}}}\right)f_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k.l}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210.000}{67,26^2} = 458,14$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{410}{458,14}}\right)410 = 281,91 \text{ MPa}$$

Kekuatan nominal:

$$\begin{aligned} N_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 281,91 \text{ kg/cm}^2 \times 86,3 \text{ cm}^2 \\ &= 243.288,33 \text{ kg} \\ &= 2.432,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi N_n = 0,9 \times 2.432,88 \text{ kN} = 2.189,59 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq N_n$$

$$517,05 \text{ kN} \leq 2.189,59 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Flexural Buckling*

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{355,6}{7,9} = 10,92$$

$$\lambda_R = \frac{0,45.E}{f_y} = \frac{0,45 \times 210.000}{410} = 230$$

Penampang kompak ($\lambda < \lambda_R$), maka:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} M_n &= 955,23 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 3.916.443 \text{ kg.cm} \\ &= 391,6 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 391,6 \text{ kN.m} \\ &= 352,44 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Maka:

$$M_u \leq M_n$$

$$137,05 \text{ kN.m} \leq 352,44 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$F_{cr} (1) = \frac{1,23.E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{5/4}}} = \frac{1,23 \times 210.000}{\sqrt{\frac{13.416}{355,6} \left(\frac{355,6}{7,9} \right)^{5/4}}} = 3.894,57 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} (2) = \frac{0,60.E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} = \frac{0,60 \times 210.000}{\left(\frac{355,6}{7,9} \right)^{3/2}} = 417,22 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} (1) \text{ dan } F_{cr} (2) > 0,6.f_y$$

$$\text{Maka: } F_{cr} = 0,6 \times f_y$$

$$C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2} = \frac{\pi(355,6-7,9)^2 \times 7,9}{2} = 1.500.224,83 \text{ mm}^3 = 1.500,2 \text{ cm}^3$$

$$T_n = 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 1.500,2 \text{ cm}^3 = 3.690.492 \text{ kg.cm} = 369,05 \text{ kN.m}$$

$$\phi_T T_n = 0,9 \times 369,05 \text{ kN.m} = 332,14 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T T_n$$

$$18,10 \text{ kN.m} \leq 332,14 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = F_{cr} \cdot A_g / 2$$

$$F_{cr} (1) = \frac{1,6 \cdot E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{5/4}}} \rightarrow L_v = L = 13.416 \text{ mm}$$

$$= \frac{1,6 \times 210.000}{\sqrt{\frac{13.416}{355,6} \left(\frac{355,6}{7,9} \right)^{5/4}}} = 5.066,1 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} (2) = \frac{0,78 \cdot E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} = \frac{0,78 \times 210.000}{\left(\frac{355,6}{7,9} \right)^{3/2}}$$

$$= 542,4 \text{ MPa}$$

$F_{cr} (1) \text{ dan } F_{cr} (2) > 0,6 \cdot f_y$

Maka: $F_{cr} = 0,6 \cdot f_y$

$$V_n = 0,6 \times 4100 \times 86,3/2$$

$$= 106.149 \text{ kg}$$

$$= 1.061,5 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 1.061,5 \text{ kN}$$

$$= 955,35 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$31,17 \text{ kN} \leq 955,35 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{18,1}{332,14} = 0,05 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{Nu}{\phi N_n} = \frac{517,05}{2.189,59} = 0,23 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{Nu}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 955,23 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 3.916.443 \text{ kg.cm} \\ &= 391,6 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,85 \times 391,6 \text{ kN.m} \\ &= 332,86 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\frac{517,05}{2.189,59} + \frac{8}{9} \left(\frac{137,05}{332,86} + \frac{6,02}{332,86} \right) < 1,0$$

$$0,61 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

5.4.3 Sambungan Ikatan Silang

a. Sambungan baut

Gaya maksimum yang bekerja pada segmen ini yaitu:

$$P_u = 517,05 \text{ kN}$$

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

$$\phi \text{ baut} = 27 \text{ mm} \quad \text{proof stress} = 585 \text{ MPa}$$

$$f_u \text{ baut} = 825 \text{ MPa}$$

tebal pelat yang digunakan = 19 mm

Kekuatan ijin 1 baut

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load}$$

$$\text{Proof load} = 0,75 \times A_b \times \text{proof stress}$$

$$= 0,75 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 2,7^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 25.120,86 \text{ kg}$$

$$\mu = \text{koefisien gesek} = 0,35$$

$$m = \text{bidang geser} = 2$$

$$V_n = 1,13 \times 0,35 \times 2 \times 25.120,86 \text{ kg}$$

$$= 19.870,6 \text{ kg}$$

$$V_d = \phi \times V_n \rightarrow \phi = 1,0 \text{ untuk lubang standar}$$

$$= 1 \times 19.870,6 \text{ kg}$$

$$= 19.870,6 \text{ kg} = 198,7 \text{ kN}$$

- Jumlah baut

$$\frac{P_u}{V_d} = \frac{517,05 \text{ kN}}{99,35 \text{ kN}} = 5,20 \text{ baut} \approx 9 \text{ baut}$$

- Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=2,7 \text{ cm}$)

$$3d < S < 15tp$$

$$8,1 \text{ cm} < S < 15 \text{ cm}$$

S diambil 10 cm.

- Jarak baut ke tepi sambungan

$$1,5d < S < (4tp+100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$4,05 \text{ cm} < S < 30 \text{ cm atau } 20 \text{ cm}$$

S diambil 5 cm.

- b. Sambungan Las

$$V_u = 31,7 \text{ kN} = 31.700 \text{ N}$$

$$M_u = 137,05 \text{ kN.m} = 137,05 \times 10^4 \text{ N.mm}$$

$$L_w = 300 \text{ mm}$$

$$f_y' = \frac{V_u}{A} = \frac{31.700 \text{ N}}{2 \times 1 \times 300 \text{ mm}} = 52,83 \text{ N/mm}$$

$$I_x = 2 \times \frac{1 \times 300^3}{12} = 4,5 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$f_x' = \frac{M_u.c}{I_x} = \frac{137,05 \times 10^4 \times 150}{4,5 \times 10^6} = 45,68 \text{ N/mm}$$

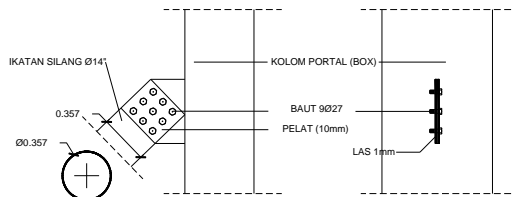
$$\begin{aligned} \phi R_n \text{ perlu} &= \sqrt{f_y'^2 + f_x''^2} \\ &= \sqrt{52,83^2 + 45,68^2} \\ &= 69,84 \text{ N/mm} \rightarrow \text{untuk } 1 \text{ mm las} \end{aligned}$$

Tahanan las:

$$\phi R_n = \phi T_e 0,6 f_{u_w}$$

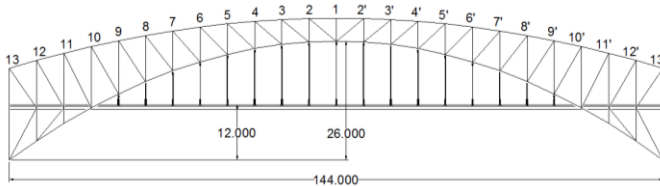
$$= 0,75 \times 0,707 \times 0,6 \times 490 = 155,89 \text{ a}$$

$$a \text{ perlu} = \frac{69,84}{155,89} = 0,44 \text{ mm} \approx 1 \text{ mm}$$



Gambar 5.18 Sambungan Ikatan Silang

5.5 Perencanaan Batang Penggantung



Gambar 5.19 Struktur Pemikul Utama

Rumus utama dalam menghitung panjang batang penggantung yaitu:

$$Y = \frac{4 \times f \times L \times (L - X)}{L^2}$$

Dimana: Y = Tinggi busur

f = Tinggi fokus busur

L = Panjang jembatan

X = Panjang jembatan yang ditinjau

Panjang batang penggantung (Y') yaitu:

$$Y' = Y - \text{tinggi rantai kendaraan}$$

Tabel 5.8 Tabel Panjang Batang Penggantung

Titik	X (m)	Y (m)	Y' (m)
1	72	26	14
2	66	25.8	13.8
3	60	25.3	13.3
4	54	24.4	12.4
5	48	23.1	11.1

Titik	X (m)	Y (m)	Y' (m)
6	42	21.5	9.5
7	36	19.5	7.5
8	30	17.2	5.2
9	24	14.4	2.4

Profil *hanger* yang digunakan adalah batang tipe *tension rod* (produksi Macalloy).

5.5.1 Pembebanan

Perhitungan pembebanan batang penggantung ditinjau terhadap batang yang paling panjang. Beban yang bekerja pada batang penggantung (*hanger*) adalah reaksi yang terjadi pada balok melintang. Reaksi tersebut merupakan akibat beban mati dan beban hidup pada jembatan.

a. Beban mati

- Pelat lantai kendaraan

$$q_{D1} = t \times \gamma \times \lambda \times K_{MS}^U$$

$$q_{D1} = 0,2\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \times 6\text{m} \times 1,3 = 3744 \text{ kg/m}$$

$$P_{D1} = q_{D1} \times 9\text{m} \times \frac{1}{2} \text{ bentang}$$

$$P_{D1} = 3744 \text{ kg/m} \times 9 \text{ m} \times \frac{1}{2} = 16.848 \text{ kg}$$

- Aspal

$$q_{D2} = t \times \gamma \times \lambda \times K_{MS}^U$$

$$q_{D2} = 0,05\text{m} \times 2200\text{kg/m}^3 \times 6\text{m} \times 1,3 = 858 \text{ kg/m}$$

$$P_{D2} = q_{D2} \times 9\text{m} \times \frac{1}{2} \text{ bentang}$$

$$P_{D2} = 858 \text{ kg/m} \times 9 \text{ m} \times \frac{1}{2} = 3.861 \text{ kg}$$

- Pelat trotoar

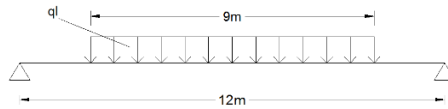
$$= t \times \gamma \times \lambda \times K_{MS}^U$$

$$= 0,2\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \times 6\text{m} \times 1,3 = 3744 \text{ kg/m}$$

- Pedestrian
 $= 500 \text{ kg/m}^2 \times \lambda$
 $= 500 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} = 3000 \text{ kg/m}$
 $q_{D3} = 3744 \text{ kg/m} + 3000 \text{ kg/m}$
 $q_{D3} = 6744 \text{ kg/m}$
 $P_{D3} = q_{D3} \times 1,5 \text{ m}$
 $P_{D3} = 6744 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ m} = 10.116 \text{ kg}$
 - Gelagar memanjang
 $P_{D3} = w \times n \times \lambda \times K_{MS}^U \times \frac{1}{2} \rightarrow n = 10 \text{ buah}$
 $P_{D3} = 89,65 \text{ kg/m} \times 10 \times 6 \text{ m} \times 1,1 \times \frac{1}{2} = 2958,45 \text{ kg}$
 - Gelagar melintang
 $P_{D3} = w \times b \times K_{MS}^U \times \frac{1}{2}$
 $P_{D3} = 191 \text{ kg/m} \times 12 \text{ m} \times 1,1 \times \frac{1}{2} = 1.260,6 \text{ kg}$
- $$P_{D\text{total}} = 16.848 + 3.861 + 10.116 + 2.958,45 + 1.260,6$$
- $$P_{D\text{total}} = 35.044,05 \text{ kg} = 350,4 \text{ kN}$$

b. Beban hidup

- UDL $\rightarrow L = 144 \text{ m}$
 $= L > 30 \text{ m} = q = 9 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$
 $= 9 \times (0,5 + 15/144) \text{ kPa}$
 $= 5,437 \text{ kPa} = 5,437 \text{ kN/m}^2$
 $q_{UDL} = q \times \lambda \times K_{UTD}$
 $q_{UDL} = 543,7 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} \times 2$
 $q_{UDL} = 6516 \text{ kg/m} = 65,16 \text{ kN/m}$
- KEL $\rightarrow P = 49 \text{ kN/m}$, DLA = 30%
 $q_{KEL} = P \times (1 + \text{DLA}) \times K_{UTD}$
 $q_{KEL} = 49 \text{ kN/m} \times (1 + 0,3) \times 2$
 $q_{KEL} = 127,4 \text{ kN/m}$
 $q_L = q_{UDL} + q_{KEL}$
 $q_L = 65,16 \text{ kN/m} + 127,4 \text{ kN/m}$
 $q_L = 192,5 \text{ kN/m}$



Gambar 5.20 Pembebanan UDL dan KEL

$$V_a = R_a$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \times 12 = (q_L \times 9 \times 6)$$

$$R_A \times 12 = (192,5 \times 9 \times 6)$$

$$R_A \times 12 = 10.395$$

$$R_A = 10.395/12 = 866,25 \text{ kN}$$

c. Beban lain-lain

Merupakan berat sambungan dan berat ikatan angin yang totalnya 10% dari total beban mati.

$$P_{D4} = 10\% \times 347,08 \text{ kN} = 34,708 \text{ kN}$$

$$R_a \text{ total} = 347,08 \text{ kN} + 866,25 \text{ kN} + 34,708 \text{ kN}$$

$$R_a \text{ total} = 1.248,03 \text{ kN}$$

5.5.2 Kontrol Kekuatan Batang Penggantung

Pada perencanaan ini, digunakan hanger tipe *tension rods*, produksi Macalloy dengan jenis Macalloy 520 (M72), Carbon steel.



Gambar 5.21 *Tension Rod* Macalloy 520, Carbon steel

Data hanger:

$$\varnothing \text{ batang} = 72 \text{ mm}$$

$$W \text{ kabel} = 32 \text{ kg/m}$$

$$\text{Minimum Break Load} = 2.635 \text{ kN}$$

Batang penggantung yang ditinjau adalah batang terpanjang ($L=14 \text{ m}$)

$$\text{Berat sendiri hanger} = w \times L \times K_{MS}^U$$

$$= 46,7 \text{ kg/m} \times 14 \text{ m} \times 1,1$$

$$= 719,18 \text{ kg} = 7,19 \text{ kN}$$

V total = Ra total + berat sendiri *hanger*

$$V \text{ total} = 1.248,03 \text{ kN} + 7,19 \text{ kN} = 1.255,22 \text{ kN}$$

1. Kontrol kelangsingan *hanger*

Batasan kelangsingan batang bulat menurut SNI 03-1729-2002 adalah:

$$L/D \leq 500 \rightarrow L = 14 \text{ m}; D = 72 \text{ mm}$$

$$\frac{14.000 \text{ mm}}{72 \text{ mm}} \leq 500$$

$$194,44 \leq 500 \rightarrow \text{OK}$$

2. Kontrol kekuatan *hanger*

$$P_u \leq \text{Minimum Break Load}$$

$$1.252,95 \text{ kN} \leq 2.635 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

5.5.3 Sambungan Penggantung

a. Sambungan *Gusset Plate* dan *Pin*

Digunakan *gusset plate* beserta pin produksi *Macalloy*

$$f_y = 520 \text{ MPa}$$

$$f_u = 660 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal } gusset = 153 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat} = 30 \text{ mm (BJ 55)}$$

$$\varnothing \text{ pin} = 78,5 \text{ mm}$$

- Kuat geser pin:

$$V_d = \varnothing f \times V_n$$

$$= 0,75 \times r_1 \times f_u^b \times A_b \times m$$

$$= 0,75 \times 0,5 \times 660 \times (0,25 \times \pi \times 78,5^2) \times 2$$

$$= 2.395.710,8 \text{ N} = 2359,7 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq V_d$$

$$1252,95 \text{ kN} \leq 2359,7 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

b. Sambungan *Gusset* dan pelat buhul

- Sambungan Baut

$$T_u = V_u = 1252,95 \text{ kN}$$

Mutu baut A325

$$f_y = 585 \text{ MPa}$$

$$f_u = 825 \text{ MPa}$$

$$d_b = 24 \text{ mm}$$

Mutu pelat BJ55, sambungan dengan pelat

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

- Kuat geser baut untuk 1 bidang geser

$$\begin{aligned} V_d &= \phi f \times 0,4 \times f_{ub} \times m \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 8250 \times 1 \times (0,25 \times \pi \times 2,4^2) \\ &= 11.196,5 \text{ kg} = 111,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} R_d &= \phi f \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_{up} \\ &= 0,75 \times 2,4 \times 2,4 \times 1,5 \times 5500 \\ &= 35.640 \text{ kg} = 356,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipilih yang terkecil yaitu 111,96 kN

$$\text{Jumlah baut yang diperlukan } (n) = \frac{V_u}{2 \times V_d}$$

$$n = \frac{1252,95}{2 \times 111,96} = 5,59 \approx 6 \text{ baut}$$

- Sambungan Las

$$V_u = 1.252,95 \text{ kN} = 125.295 \text{ N}$$

$$L_w = 450 \text{ mm}$$

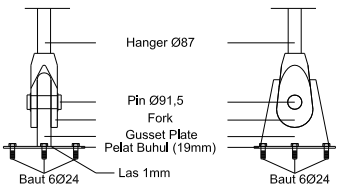
$$f_y = \frac{V_u}{A} = \frac{125.295 \text{ N}}{2 \times 1 \times 450 \text{ mm}} = 139,21 \text{ N/mm}$$

$$\phi R_n \text{ perlu} = 139,21 \text{ N/mm} \rightarrow \text{untuk 1 mm las}$$

Tahanan las:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi T_e 0,6 f_{uw} \\ &= 0,75 \times 0,707a \times 0,6 \times 490 = 155,89a \end{aligned}$$

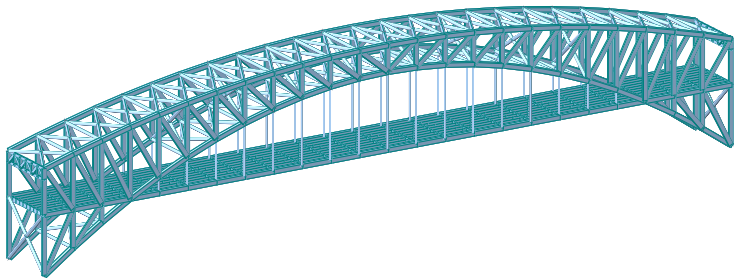
$$a \text{ perlu} = \frac{139,21}{155,89} = 0,89 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$$



Gambar 5.22 Sambungan Batang Penggantung

5.6 Analisa Struktur Busur

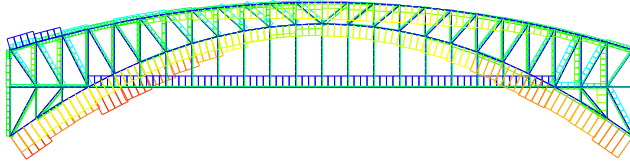
Dari hasil pemodelan menggunakan *software* Midas Civil 2011, didapat nilai gaya batang maksimum sebagai berikut:



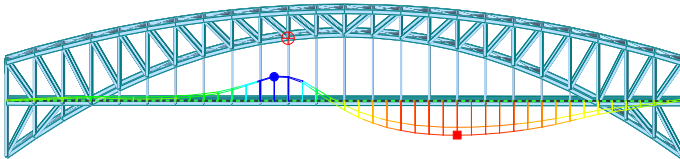
Gambar 5.23 Pemodelan Jembatan MIDAS Civil 2011

Tabel 5.9 Hasil Analisa Gaya Batang

Elemen	Aksial (kN)	Shear y (kN)	Shear z (kN)	Torsi (kN.m)	Momen y (kN.m)	Momen z (kN.m)	Fra me	Com
Busur Atas	-14.236,4	82,58	340,09	-237,27	-1.695,47	-444,06	176	2
Busur Bawah	-15.414,73	1.703,29	547,14	-268,39	3.404,34	166,19	153	2
Diagonal	9.582,62	-	-	-	-	-	261	1
Vertikal	-9.407,87	-	-	-	-	-	256	1
Main Girder	23.247,69	77,07	-392,05	-64,75	3.027,96	-314,98	280	1



Gambar 5.24 Contoh Hasil Gaya Batang
Untuk beban berjalan, digunakan metode garis pengaruh dengan beban 1 kN berjalan.



Gambar 5.25 Contoh Garis Pengaruh Akibat Beban Berjalan

5.7 Kontrol Struktur Busur Atas

5.7.1 Kontrol Penampang

Profil yang dipakai: Box 800x500x38x38

$A = 930,24 \text{ cm}^2$

$w = 730,23 \text{ kg/m}$

$i_x = 29,18 \text{ cm}$

$i_y = 20,03 \text{ cm}$

$I_x = 792.421,2 \text{ cm}^4$

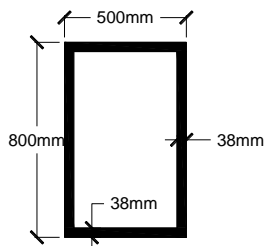
$I_y = 373.442,4 \text{ cm}^4$

$Z_x = 24.437,34 \text{ cm}^3$

$Z_y = 17.460,54 \text{ cm}^3$

$f_y = 410 \text{ MPa}$

$f_u = 550 \text{ MPa}$



Gambar 5.26 Penampang Box Busur Atas

- Kontrol Batang Tekan
Cek dimensi flens untuk menghindari terjadinya local buckling pada badan.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{500}{38} = 13,15$$

$$\lambda_R = 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,4 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 31,68$$

$$\frac{b}{t_f} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Batasan kelangsingan untuk struktur tekan yaitu:

$$\frac{k \cdot l_x}{i_x} < 200$$

$$\rightarrow \begin{aligned} k &= 0,9 \text{ (batang dilas penuh)} \\ l &= \text{panjang tekuk} = 6.173 \text{ mm} \\ i_x &= 291,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{0,9 \times 6.173}{291,8} < 200 = 19,04 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 106,6$$

$$\frac{k \cdot l_x}{i_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka: } F_{cr} = \left(0,658^{\frac{f_y}{f_{fe}}} \right) f_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k \cdot l}{i} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210.000}{19,04^2} = 5.717,22 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{410}{5.717,22}} \right) 410 = 397,8 \text{ MPa}$$

Kekuatan nominal:

$$\begin{aligned} N_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 3978 \text{ kg/cm}^2 \times 930,24 \text{ cm}^2 \\ &= 3.700.494,72 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$= 37.004,94 \text{ kN}$$

$$\phi N_n = 0,9 \times 37.004,94 \text{ kN} = 33.304,44 \text{ kN}$$

Bila:

$$N_u = 14.236,4 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq N_n$$

$$14.236,4 \text{ kN} \leq 33.304,44 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Flexural Buckling*

Cek kekompakan profil:

$$h = 800 - (2 \times 38) = 724 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{38} = 19,05$$

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 25,34$$

Penampang kompak ($\lambda < \lambda_R$), maka:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$M_n = 24.437,34 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 100.193.094 \text{ kg.cm}$$

$$= 10.019,31 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 10.019,31 \text{ kN.m}$$

$$= 9.017,37 \text{ kN.m}$$

Bila:

$$M_u = 1.695,47 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$M_u \leq M_n$$

$$1.695,47 \text{ kN.m} \leq 9.017,37 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T \cdot T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{38} = 19,05$$

$$2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,45 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 55,44$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka } F_{cr} = 0,6.f_y$$

$$\begin{aligned} C &= 2(B-t)(H-t)t - 4,5(4-\pi)t^3 \\ &= 2(500-38) \times (800-38) \times 38 - 4,5(4-\pi) \times 38^3 \\ &= 26.543.382 \text{ mm}^3 \\ &= 26.543,38 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 26.543,38 \text{ cm}^3 \\ &= 65.296.714,8 \text{ kg.cm} \\ &= 6.529,67 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_T.T_n &= 0,9 \times 6.529,67 \text{ kN.m} \\ &= 5.876,7 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Bila:

$$T_u = 237,27 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T.T_n$$

$$237,27 \text{ kN.m} \leq 5.876,7 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = 0,6.f_y.A_w.C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{38} = 19,05$$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_v.E}{f_y}} \rightarrow K_v = 5 \text{ (Untuk penampang box)}$$

$$1,1 \sqrt{\frac{5 \times 210.000}{410}} = 55,66$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \rightarrow C_v = 1$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times 4100 \times (2 \times 72,4 \times 3,8) \times 1 \\ &= 1.353.590,4 \text{ kg} \\ &= 13.535,9 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 0,9 \times 13.535,9 \text{ kN} \\ &= 12.182,31 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bila:

$$V_u = 340,09 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$340,09 \text{ kN} \leq 12.182,31 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{237,27}{5.876,7} = 0,04 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{14.236,4}{33.304,44} = 0,42 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 17.460,54 \text{ cm}^3 \times 4.100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 71.588.214 \text{ kg.cm} \\ &= 7.158,8 \text{ kN.m} \\ \phi M_n &= 0,9 \times 7.158,8 \text{ kN.m} \\ &= 6.442,92 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\frac{14.236,4}{33.304,44} + \frac{8}{9} \left(\frac{1.695,47}{9.017,37} + \frac{444,04}{6.442,92} \right) < 1,0$$

$$0,64 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

5.7.2 Sambungan Busur Atas

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

\varnothing baut = 32 mm proof stress = 585 MPa

f_u baut = 825 MPa

tebal pelat yang digunakan = 19 mm

- Kekuatan ijin 1 baut

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load}$$

$$\text{Proof load} = 0,75 \times A_b \times \text{proof stress}$$

$$= 0,75 \times (0,25 \times \pi \times 3,2^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 35.286,36 \text{ kg}$$

$$\mu = \text{koefisien gesek} = 0,35$$

$$m = \text{bidang geser} = 2$$

$$V_n = 1,13 \times 0,35 \times 1 \times 35.286,36 \text{ kg}$$

$$= 27.911,5 \text{ kg}$$

$$V_d = \varnothing \times V_n \rightarrow \varnothing = 1,0 \text{ untuk lubang standar}$$

$$= 1 \times 27.911,5 \text{ kg}$$

$$= 27.911,5 \text{ kg} = 279,11 \text{ kN}$$

- Jumlah baut

Perhitungan jumlah baut dihitung berdasarkan resultan gaya yang bekerja pada 3 arah, dimana semua gaya yang bekerja dirubah menjadi gaya geser.

- a. Beban yang bekerja arah x (R_x)

$$P = 14.236,4 \text{ kN}$$

$$\frac{M_y}{H} = \frac{1.695,47 \text{ kN.m}}{0,8 \text{ m}} = 2.119,33 \text{ kN}$$

$$\frac{M_z}{B} = \frac{444,06 \text{ kN.m}}{0,5 \text{ m}} = 888,12 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_x = 17.243,85 \text{ kN}$$

$$R_{x1} \text{ pada sayap} =$$

$$\left(\frac{B}{B+H} \right) \times \frac{1}{2} R_x =$$

$$\left(\frac{0,5}{0,5+0,8} \right) \times \frac{1}{2} \times 17.243,85 = 3.316,12 \text{ kN}$$

Rx2 pada badan=

$$\left(\frac{H}{B+H} \right) \times \frac{1}{2} R_x =$$

$$\left(\frac{0,8}{0,5+0,8} \right) \times \frac{1}{2} \times 17.243,85 = 5.305,8 \text{ kN}$$

b. Beban yang bekerja arah y (Ry)

$$V_y = 82,58 \text{ kN}$$

$$\frac{\left(\frac{B}{B+H} \right) \times T}{H} =$$

$$\frac{\left(\frac{0,5}{0,5+0,8} \right) \times 237,27 \text{ kN.m}}{0,8} = 114,07 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_y = 196,65 \text{ kN}$$

c. Beban yang bekerja arah z (Rz)

$$V_z = 340,09 \text{ kN}$$

$$\frac{\left(\frac{H}{B+H} \right) \times T}{B} =$$

$$\frac{\left(\frac{0,8}{0,5+0,8} \right) \times 237,27 \text{ kN.m}}{0,5} = 292,02 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_z = 632,11 \text{ kN}$$

Resultan gaya pada sayap:

$$R_1 = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$R_1 = \sqrt{3.316,12^2 + 196,65^2}$$

$$R_1 = 3.321,94 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut (n) pada sayap} = \frac{R_1}{Vd}$$

$$n = \frac{3.321,94 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 11,9 \approx 12 \text{ baut}$$

Resultan gaya pada badan

$$R_2 = \sqrt{R_x^2 + R_z^2}$$

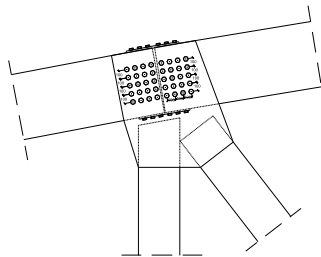
$$R_2 = \sqrt{5.305,8^2 + 632,11^2}$$

$$R_2 = 5.343,32 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut (n) pada badan} = \frac{R_2}{Vd}$$

$$n = \frac{5.343,32 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 19,14 \approx 20 \text{ baut}$$

- Jarak baut
 - Jarak antara baut ($d=3,2 \text{ cm}$)
 $3d < S < 15tp$
 $9,6 \text{ cm} < S < 28,5 \text{ cm}$
 S diambil 10 cm .
 - Jarak baut ke tepi sambungan
 $1,5d < S < (4tp+100) \text{ atau } 200\text{mm}$
 $4,8 \text{ cm} < S < 17,6 \text{ cm atau } 20 \text{ cm}$
 S diambil 5 cm .



Gambar 5.27 Sambungan Busur Atas

5.8 Kontrol Struktur Busur Bawah

5.8.1 Kontrol Penampang

Profil yang dipakai: Box 800x500x38x38

$$A = 930,24 \text{ cm}^2$$

$$w = 730,23 \text{ kg/m}$$

$$i_x = 29,1 \text{ cm}$$

$$i_y = 20 \text{ cm}$$

$$I_x = 792.421,2 \text{ cm}^4$$

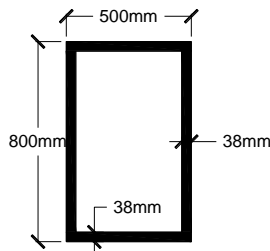
$$I_y = 373.442,4 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 24.437,34 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 17.460,54 \text{ cm}^3$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$



Gambar 5.28 Penampang Box Busur Bawah

- Kontrol Batang Tekan
Cek dimensi flens untuk menghindari terjadinya local buckling pada badan.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{500}{38} = 13,15$$

$$\lambda_R = 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,4 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 31,68$$

$$\frac{b}{t_f} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Batasan kelangsingan untuk struktur tekan yaitu:

$$\frac{k \cdot l_x}{i_x} < 200$$

$$\rightarrow \begin{aligned} k &= 0,9 \text{ (batang dilas penuh)} \\ l &= \text{panjang tekuk} = 6.173 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$i_x = 291,8 \text{ mm}$$

$$\frac{0,9 \times 6.173}{291,8} < 200 = 19,04 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 106,6$$

$$\frac{k \cdot l_x}{i_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka: } F_{cr} = \left(0,658^{\frac{f_y}{f_{fe}}} \right) f_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k \cdot l}{i} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210.000}{19,04^2} = 5.717,22 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{410}{5.717,22}} \right) 410 = 397,8 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 3978 \text{ kg/cm}^2 \times 930,24 \text{ cm}^2 \\ &= 3.700.494,72 \text{ kg} \\ &= 37.004,94 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi N_n = 0,9 \times 37.004,94 \text{ kN} = 33.304,44 \text{ kN}$$

Bila:

$$N_u = 15.414,73 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq N_n$$

$$15.414,73 \text{ kN} \leq 33.304,44 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Flexural Buckling*

Penampang kompak ($\lambda < \lambda_R$), maka:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} M_n &= 24.437,34 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 100.193.094 \text{ kg.cm} \\ &= 10.019,31 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 10.019,31 \text{ kN.m} \\ &= 9.017,37 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Bila:

$$M_u = 3.404,34 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$M_u \leq M_n$$

$$3.404,34 \text{ kN.m} \leq 9.017,37 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T \cdot T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{38} = 19,05$$

$$2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,45 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 55,44$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka } F_{cr} = 0,6 \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} C &= 2(B-t)(H-t)t - 4,5(4-\pi)t^3 \\ &= 2(500-38)(800-38) \times 38 - 4,5(4-\pi) \times 38^3 \\ &= 26.543.382,62 \text{ mm}^3 \\ &= 26.543,38 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 26.543,38 \text{ cm}^3 \\ &= 65.296.714,8 \text{ kg.cm} \\ &= 6.529,67 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_T \cdot T_n &= 0,9 \times 6.529,67 \text{ kN.m} \\ &= 5.876,7 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Bila:

$$T_u = 268,39 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T \cdot T_n$$

$$268,39 \text{ kN.m} \leq 5.876,7 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{38} = 19,05$$

$$1,1\sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \rightarrow K_v = 5 \text{ (Untuk penampang box)}$$

$$1,1\sqrt{\frac{5 \times 210.000}{410}} = 55,66$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1\sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \rightarrow C_v = 1$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times 4100 \times (2 \times 72,4 \times 3,8) \times 1 \\ &= 1.353.590,4 \text{ kg} \\ &= 13.535,9 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 0,9 \times 13.535,9 \text{ kN} \\ &= 12.182,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bila:

$$V_u = 1.703,29 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$1.703,29 \text{ kN} \leq 12.182,3 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{268,39}{5.876,7} = 0,04 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{15.414,73}{33.304,44} = 0,46 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 17.460,54 \text{ cm}^3 \times 4.100 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 71.588.214 \text{ kg.cm} \\
 &= 7.158,8 \text{ kN.m} \\
 \emptyset M_n &= 0,9 \times 7.158,8 \text{ kN.m} \\
 &= 6.442,92 \text{ kN.m} \\
 \frac{15.414,73}{33.304,44} + \frac{8}{9} \left(\frac{3.404,34}{9.017,37} + \frac{166,19}{6.442,92} \right) &< 1,0 \\
 0,81 < 1 &\rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

5.8.2 Sambungan Busur Bawah

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

\emptyset baut = 32 mm proof stress = 585 MPa
 fu baut = 825 MPa
 tebal pelat yang digunakan = 19 mm

- Kekuatan ijin 1 baut

$$\begin{aligned}
 V_n &= 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load} \\
 \text{Proof load} &= 0,75 \times A_b \times \text{proof stress} \\
 &= 0,75 \times (0,25 \times \pi \times 3,2^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 35.286,36 \text{ kg} \\
 \mu &= \text{koefisien gesek} = 0,35 \\
 m &= \text{bidang geser} = 2 \\
 V_n &= 1,13 \times 0,35 \times 1 \times 35.286,36 \text{ kg} \\
 &= 27.911,5 \text{ kg} \\
 V_d &= \emptyset \times V_n \rightarrow \emptyset = 1,0 \text{ untuk lubang standar} \\
 &= 1 \times 27.911,5 \text{ kg} \\
 &= 27.911,5 \text{ kg} = 279,11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$
- Jumlah baut

Perhitungan jumlah baut dihitung berdasarkan resultan gaya yang bekerja pada 3 arah, dimana semua gaya yang bekerja dirubah menjadi gaya geser.

a. Beban yang bekerja arah x (Rx)

$$P = 15.414,73 \text{ kN}$$

$$\frac{M_y}{H} = \frac{3.404,34 \text{ kN.m}}{0,8 \text{ m}} = 4.255,42 \text{ kN}$$

$$\frac{M_z}{B} = \frac{166,9 \text{ kN.m}}{0,5 \text{ m}} = 333,8 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_x = 20.003,95 \text{ kN}$$

Rx1 pada sayap=

$$\left(\frac{B}{B+H} \right) \times \frac{1}{2} R_x =$$

$$\left(\frac{0,5}{0,5+0,8} \right) \times \frac{1}{2} \times 20.003,95 = 3.846,91 \text{ kN}$$

Rx2 pada badan=

$$\left(\frac{H}{B+H} \right) \times \frac{1}{2} R_x =$$

$$\left(\frac{0,8}{0,5+0,8} \right) \times \frac{1}{2} \times 20.003,95 = 6.155,06 \text{ kN}$$

b. Beban yang bekerja arah y (R_y)

$$V_y = 170,33 \text{ kN}$$

$$\frac{\left(\frac{B}{B+H} \right) \times T}{H} =$$

$$\frac{\left(\frac{0,5}{0,5+0,8} \right) \times 268,39 \text{ kN.m}}{0,8} = 129,03 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_y = 299,36 \text{ kN}$$

c. Beban yang bekerja arah z (R_z)

$$V_z = 547,14 \text{ kN}$$

$$\frac{\left(\frac{H}{B+H} \right) \times T}{B} =$$

$$\frac{\left(\frac{0,8}{0,5 + 0,8}\right) \times 268,39 \text{ kN.m}}{0,5} = 330,32 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_z = 877,46 \text{ kN}$$

Resultan gaya pada sayap:

$$R_1 = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$R_1 = \sqrt{3.846,91^2 + 299,36^2}$$

$$R_1 = 3.858,54 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut (n) pada sayap} = \frac{R_1}{V_d}$$

$$n = \frac{3.858,54 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 13,82 \approx 14 \text{ baut}$$

Resultan gaya pada badan

$$R_2 = \sqrt{R_x^2 + R_z^2}$$

$$R_2 = \sqrt{6.155,06^2 + 877,46^2}$$

$$R_2 = 6.217,29 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut (n) pada badan} = \frac{R_2}{V_d}$$

$$n = \frac{6.217,29 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 22,27 \approx 24 \text{ baut}$$

- Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=3,2 \text{ cm}$)

$$3d < S < 15tp$$

$$9,6 \text{ cm} < S < 28,5 \text{ cm}$$

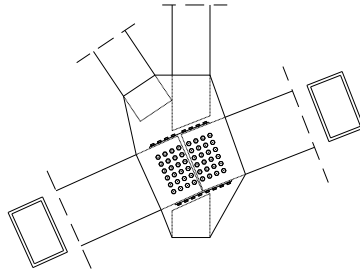
S diambil 10 cm.

- Jarak baut ke tepi sambungan

$$1,5d < S < (4tp+100) \text{ atau } 200\text{mm}$$

$$4,8 \text{ cm} < S < 17,6 \text{ cm atau } 20 \text{ cm}$$

S diambil 5 cm.



Gambar 5.29 Sambungan Busur Bawah

5.9 Kontrol Struktur Busur Diagonal

5.9.1 Kontrol Penampang

Profil yang dipakai: WF 500x500x16x25

$$A = 322 \text{ cm}^2$$

$$w = 252,7 \text{ kg/m}$$

$$i_x = 21,82 \text{ cm}$$

$$i_y = 12,72 \text{ cm}$$

$$I_x = 153.295,83 \text{ cm}^4$$

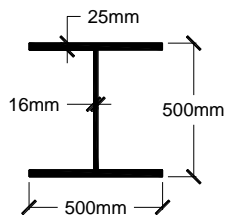
$$I_y = 52.098,69 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 6.747,5 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 3.153,8 \text{ cm}^3$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$



Gambar 5.30 Penampang WF Batang Diagonal

- Kontrol batang tarik
Kontrol kelangsingan sebagai batang tarik:

$$\lambda_{\min} = \frac{kL}{i_{\min}} \leq 300 \rightarrow L = 10.507 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{1 \times 10.507}{218,2} = 48,15 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan leleh:

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 322 \text{ cm}^2 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1.188.180 \text{ kg} = 11.881,8 \text{ kN}\end{aligned}$$

Bila:

$$P_u = 9.582,62 \text{ kN}$$

Maka:

$$\begin{aligned}P_u &\leq \phi P_n \\ 9.582,62 \text{ kN} &\leq 11.881,8 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Kontrol kekuatan patah:

$$\begin{aligned}A_n &= 85\% \times A_g \\ &= 85\% \times 322 \text{ cm}^2 \\ &= 273,7 \text{ cm}^2 \\ \phi P_n &= \phi \times A_n \times f_u \\ &= 0,75 \times 273,7 \text{ cm}^2 \times 5500 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1.129.012,5 \text{ kg} = 11.290,1 \text{ kN}\end{aligned}$$

Bila:

$$P_u = 9.582,62 \text{ kN}$$

Maka:

$$\begin{aligned}P_u &\leq \phi P_n \\ 9.582,62 \text{ kN} &\leq 11.290,1 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

5.9.2 Sambungan Busur Diagonal

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

$$\phi \text{ baut} = 27 \text{ mm} \quad \text{proof stress} = 585 \text{ MPa}$$

$$f_u \text{ baut} = 825 \text{ MPa}$$

tebal pelat yang digunakan = 19 mm

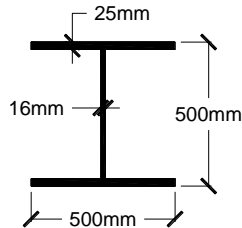
- Kekuatan ijin 1 baut

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load}$$

$$\begin{aligned}\text{Proof load} &= 0,75 \times A_b \times \text{proof stress} \\ &= 0,75 \times (0,25 \times \pi \times 2,7^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 25.120,86 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\mu = \text{koefisien gesek} = 0,35$$

$$\begin{array}{ll}
 i_x = 21,82 \text{ cm} & i_y = 12,72 \text{ cm} \\
 I_x = 153.295,83 \text{ cm}^4 & I_y = 52.098,69 \text{ cm}^4 \\
 Z_x = 6.747,5 \text{ cm}^3 & Z_y = 3.153,8 \text{ cm}^3 \\
 f_y = 410 \text{ MPa} & f_u = 550 \text{ MPa}
 \end{array}$$



Gambar 5.32 Penampang WF Batang Vertikal

- Kontrol Batang Tekan
Cek dimensi flens untuk menghindari terjadinya local buckling pada badan.

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{500}{2 \times 25} = 10$$

$$\lambda_R = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 12,67$$

$$\frac{b}{t_f} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Batasan kelangsingan untuk struktur tekan yaitu:

$$\frac{k.l_x}{i_x} < 200$$

$$\rightarrow k = 1$$

$$l = \text{panjang tekuk} = 10.382 \text{ mm}$$

$$i_x = 316,3 \text{ mm}$$

$$\frac{10.382}{316,3} < 200 = 32,82 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$4,71\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71\sqrt{\frac{210.000}{410}} = 106,6$$

$$\frac{k.l_x}{i_x} < 4,71\sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka: } F_{cr} = \left(0,658^{\frac{f_y}{f_e}}\right)f_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k.l}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210.000}{32,82^2} = 1.924,16 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{410}{1.924,16}}\right)410 = 375,01 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 3.750,1 \text{ kg/cm}^2 \times 322 \text{ cm}^2 \\ &= 1.207.532,2 \text{ kg} \\ &= 12.075,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi N_n = 0,9 \times 12.075,3 \text{ kN} = 10.867,7 \text{ kN}$$

Bila:

$$N_u = 9.407,87 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq N_n$$

$$9.407,87 \text{ kN} \leq 10.867,7 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

5.10.2 Sambungan Busur Vertikal

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

$$\phi \text{ baut} = 27 \text{ mm} \quad \text{proof stress} = 585 \text{ MPa}$$

$$f_u \text{ baut} = 825 \text{ MPa}$$

tebal pelat yang digunakan = 19 mm

- Kekuatan ijin 1 baut

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load}$$

$$\text{Proof load} = 0,75 \times A_b \times \text{proof stress}$$

$$= 0,75 \times (0,25 \times \pi \times 2,7^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 25.120,86 \text{ kg}$$

$$\mu = \text{koefisien gesek} = 0,35$$

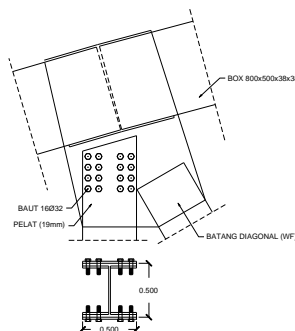
$$\begin{aligned}
 m &= \text{bidang geser} = 2 \\
 V_n &= 1,13 \times 0,35 \times 1 \times 35.286,36 \text{ kg} \\
 &= 27.911,5 \text{ kg} \\
 V_d &= \phi \times V_n \rightarrow \phi = 1,0 \text{ untuk lubang standar} \\
 &= 1 \times 27.911,5 \text{ kg} \\
 &= 27.911,5 \text{ kg} = 279,11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Jumlah baut

$$\frac{P_u}{V_d} = \frac{7.734,51 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 27,71 \text{ baut} \approx 30 \text{ baut}$$

- Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=2,7 \text{ cm}$)
 $3d < S < 15t_p$
 $8,1 \text{ cm} < S < 15 \text{ cm}$
 S diambil 10 cm .
- Jarak baut ke tepi sambungan
 $1,5d < S < (4t_p+100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$
 $4,05 \text{ cm} < S < 30 \text{ cm atau } 20 \text{ cm}$
 S diambil 5 cm .



Gambar 5.33 Sambungan Busur Vertikal

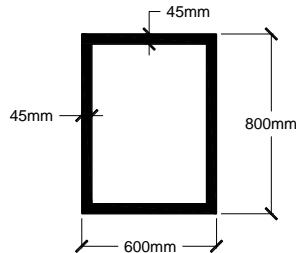
5.11 Kontrol Struktur Main Girder

5.11.1 Kontrol Penampang

Profil yang dipakai: Box 800x600x45x45

$$A = 1.179 \text{ cm}^2 \qquad w = 925,51 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{ll}
 i_x = 29,68 \text{ cm} & i_y = 23,5 \text{ cm} \\
 I_x = 1.038.878,3 \text{ cm}^4 & I_y = 655.148,3 \text{ cm}^4 \\
 Z_x = 31.727,25 \text{ cm}^3 & Z_y = 25.832,25 \text{ cm}^3 \\
 f_y = 410 \text{ MPa} & f_u = 550 \text{ MPa}
 \end{array}$$



Gambar 5.34 Penampang Box Main Girder

- Kontrol batang tarik
Kontrol kelangsingan sebagai batang tarik:

$$\lambda_{\min} = \frac{kL}{i_{\min}} \leq 300 \rightarrow L = 6.000 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{1 \times 6.000}{296,8} = 20,21 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan leleh:

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= \phi \times A_g \times f_y \\
 &= 0,9 \times 1.179 \text{ cm}^2 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 4.350.510 \text{ kg} = 43.505,1 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Bila:

$$P_u = 23.247,69 \text{ kN}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$23.247,69 \text{ kN} \leq 43.505,1 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan patah:

$$\begin{aligned}
 A_n &= 85\% \times A_g \\
 &= 85\% \times 1.179 \text{ cm}^2 \\
 &= 1.002,15 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_e = A_n \times U$$

$$\rightarrow U = 1 - \frac{\bar{x}}{1} \rightarrow \bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$$

$$\bar{x} = \frac{600^2}{4(600+800)} = 64,28$$

$$U = 1 - \frac{64,28}{800} = 0,92$$

$$A_e = 1.002,15 \text{ cm}^2 \times 0,92 = 921,97 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 921,97 \text{ cm}^2 \times 5.500 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 3.803.126,25 \text{ kg} = 38.031,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bila:

$$P_u = 23.247,69 \text{ kN}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$23.247,69 \text{ kN} \leq 38.031,26 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Flexural Buckling*

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{600}{2 \times 45} = 6,67$$

$$\lambda_R = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{410}} = 30,86$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{800 - (2 \times 45)}{45} = 15,78$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{410}} = 32,84$$

Penampang kompak \rightarrow Analisa plastis

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} M_n &= 31.727,25 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 130.081.725 \text{ kg.cm} \\ &= 13.008,17 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 13.008,17 \text{ kN.m} \\ &= 11.707,35 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Bila:

$$M_u = 3.027,96 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$3.027,96 \text{ kN.m} \leq 11.707,35 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T \cdot T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{710}{45} = 15,78$$

$$2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,45 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 55,44$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka } F_{cr} = 0,6 \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} C &= 2(B-t)(H-t)t - 4,5(4-\pi)t^3 \\ &= 2(600-45) \times (800-45) \times 45 - 4,5(4-\pi) \times 45^3 \\ &= 37.360.249,34 \text{ mm}^3 \\ &= 37.360,25 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 37.360,25 \text{ cm}^3 \\ &= 91.906.215 \text{ kg.cm} \\ &= 9.190,62 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_T \cdot T_n &= 0,9 \times 9.190,62 \text{ kN.m} \\ &= 8.271,55 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Bila:

$$T_u = 64,75 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T \cdot T_n$$

$$64,75 \text{ kN.m} \leq 8.271,55 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{710}{45} = 15,78$$

$$1,1\sqrt{\frac{K_v.E}{f_y}} \rightarrow K_v = 5 \text{ (Untuk penampang box)}$$

$$1,1\sqrt{\frac{5 \times 210.000}{410}} = 55,66$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1\sqrt{\frac{K_v.E}{f_y}} \rightarrow C_v = 1$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times 4100 \times (2 \times 71 \times 4,5) \times 1 \\ &= 1.571.940 \text{ kg} \\ &= 15.719,4 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 0,9 \times 15.719,4 \text{ kN} \\ &= 14.147,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bila:

$$V_u = 392,05 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$392,05 \text{ kN} \leq 14.147,46 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{64,75}{8.271,55} = 0,007 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{23.247,69}{38.031,26} = 0,61 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 25.832,25 \text{ cm}^3 \times 4.100 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 105.912.225 \text{ kg.cm} \\
 &= 10.591,2 \text{ kN.m} \\
 \emptyset M_n &= 0,85 \times 10.591,2 \text{ kN.m} \\
 &= 9.002,52 \text{ kN.m} \\
 \frac{23.247,69}{38.031,26} + \frac{8}{9} \left(\frac{3.027,96}{11.056,94} + \frac{314,98}{9.002,52} \right) &< 1,0 \\
 0,88 < 1 &\rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

5.11.2 Sambungan Main Girder

Dalam perencanaan sambungan antara batang tarik (Main Girder) digunakan sistem sambungan gesek/friksi.

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

\emptyset baut = 32 mm proof stress = 585 MPa

f_u baut = 825 MPa

tebal pelat yang digunakan = 19 mm

- Kekuatan ijin 1 baut

$$\begin{aligned}
 V_n &= 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load} \\
 \text{Proof load} &= 0,75 \times A_b \times \text{proof stress} \\
 &= 0,75 \times (0,25 \times \pi \times 3,2^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 35.286,36 \text{ kg} \\
 \mu &= \text{koefisien gesek} = 0,35 \\
 m &= \text{bidang geser} = 2 \\
 V_n &= 1,13 \times 0,35 \times 1 \times 35.286,36 \text{ kg} \\
 &= 27.911,5 \text{ kg} \\
 V_d &= \emptyset \times V_n \rightarrow \emptyset = 1,0 \text{ untuk lubang standar} \\
 &= 1 \times 27.911,5 \text{ kg} \\
 &= 27.911,5 \text{ kg} = 279,11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$
- Jumlah baut

Perhitungan jumlah baut dihitung berdasarkan resultan gaya yang bekerja pada 3 arah, dimana

semua gaya yang bekerja dirubah menjadi gaya geser.

a. Beban yang bekerja arah x (R_x)

$$P = 23.247,69 \text{ kN}$$

$$\frac{My}{H} = \frac{3.027,96 \text{ kN.m}}{0,8 \text{ m}} = 3.784,95 \text{ kN}$$

$$\frac{Mz}{B} = \frac{314,98 \text{ kN.m}}{0,6 \text{ m}} = 524,96 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_x = 27.557,6 \text{ kN}$$

R_{x1} pada sayap=

$$\left(\frac{B}{B+H} \right) \times \frac{1}{2} R_x =$$

$$\left(\frac{0,6}{0,6+0,8} \right) \times \frac{1}{2} \times 27.557,6 = 5.905,2 \text{ kN}$$

R_{x2} pada badan=

$$\left(\frac{H}{B+H} \right) \times \frac{1}{2} R_x =$$

$$\left(\frac{0,8}{0,6+0,8} \right) \times \frac{1}{2} \times 27.557,6 = 7.873,6 \text{ kN}$$

b. Beban yang bekerja arah y (R_y)

$$V_y = 77,07 \text{ kN}$$

$$\frac{\left(\frac{B}{B+H} \right) \times T}{H} =$$

$$\frac{\left(\frac{0,6}{0,6+0,8} \right) \times 64,75 \text{ kN.m}}{0,8} = 34,68 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_y = 111,75 \text{ kN}$$

c. Beban yang bekerja arah z (R_z)

$$V_z = 392,05 \text{ kN}$$

$$\frac{\left(\frac{H}{B+H}\right) \times T}{B} = \frac{\left(\frac{0,8}{0,6+0,8}\right) \times 64,75 \text{ kN.m}}{0,6} = 61,67 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_z = 453,72 \text{ kN}$$

Resultan gaya pada sayap:

$$R_1 = \sqrt{R_{x1}^2 + R_y^2}$$

$$R_1 = \sqrt{5.905,2^2 + 111,75^2}$$

$$R_1 = 5.906,25 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut (n) pada sayap} = \frac{R_1}{V_d}$$

$$n = \frac{5.906,25 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 21,16 \approx 22 \text{ baut}$$

Resultan gaya pada badan

$$R_2 = \sqrt{R_{x2}^2 + R_z^2}$$

$$R_2 = \sqrt{7.873,6^2 + 453,72^2}$$

$$R_2 = 7.886,66 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut (n) pada badan} = \frac{R_2}{V_d}$$

$$n = \frac{7.886,66 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 28,25 \approx 30 \text{ baut}$$

- Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=3,2 \text{ cm}$)

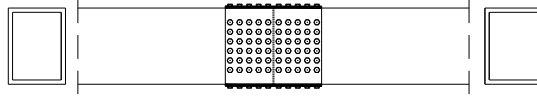
$$3d < S < 15t_p$$

$$9,6 \text{ cm} < S < 28,5 \text{ cm}$$

S diambil 10 cm.

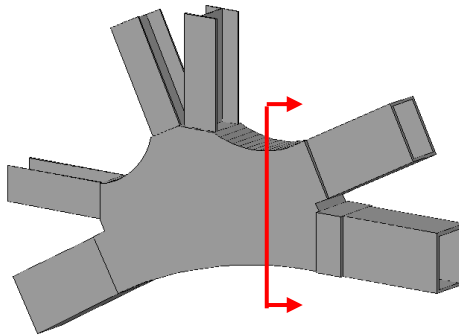
- Jarak baut ke tepi sambungan

$1,5d < S < (4tp+100)$ atau 200mm
 $4,8 \text{ cm} < S < 17,6 \text{ cm}$ atau 20 cm
 S diambil 5 cm.



Gambar 5.35 Sambungan Main Girder

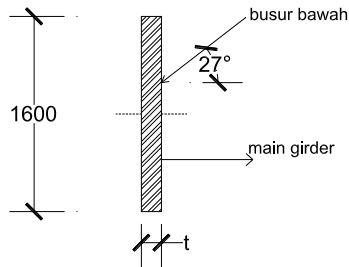
5.12 Sambungan Tipe A



Gambar 5.36 Sambungan Tipe A

Sambungan jembatan seluruhnya menggunakan pelat buhul, namun berbeda pada sambungan berikut. Sambungan tipe A merupakan sambungan yang digunakan pada segmen pertemuan antara main girder dengan batang busur bawah, dimana terdapat 6 batang yang bertemu pada 1 titik buhul. Digunakan pelat gusset fabrikasi untuk memudahkan pekerjaan dilapangan. Oleh karena itu, perlu peninjauan khusus pada sambungan ini.

Sambungan yang ditinjau ditandai pada gambar 5.36.



Gambar 5.37 Proyeksi Potongan Sambungan

- Gaya geser

$$V = 23.247,69 - 15.414,73 \times \cos 27^\circ$$

$$= 9.513,065 \text{ kN} = 9.513.065 \text{ N}$$

$$\tau_v = \frac{P}{A} = \frac{9.513.065 \text{ N}}{1600 \times t} = \frac{5.945,66 \text{ N}}{t}$$
- Gaya normal

$$N = 15.414,73 \times \sin 27^\circ$$

$$= 6.998,141 \text{ kN} = 6.998.141 \text{ N}$$

$$\sigma_N = \frac{N}{A} = \frac{6.998.141 \text{ N}}{1600 \times t} = \frac{4.373,83 \text{ N}}{t}$$
- Gaya momen

$$M = 23.247,69 \times 0,3 + 15.414,73 \times \cos 27^\circ \times 0,15$$

$$= 9.007,5 \text{ kN.m} = 9.007,5 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\sigma_M = \frac{M.y}{I} = \frac{9.007,5 \times 10^6 \times 800}{\frac{1}{12} \times t \times 1600^3} = \frac{11.517,42 \text{ N}}{t}$$
- $\sigma = \sigma_M + \sigma_N$

$$= \frac{11.517,42 \text{ N}}{t} + \frac{4.373,83 \text{ N}}{t} = \frac{15.891,25 \text{ N}}{t}$$
- $\sigma_{\text{total}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} < \bar{\sigma}$

$$= \sqrt{\frac{15.891,25^2}{t} + 3 \frac{5.945,66^2}{t}} < 410 \text{ MPa}$$

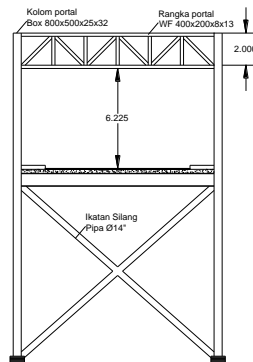
$$= \frac{18.941,15 \text{ N}}{t} < 410 \text{ MPa}$$

$$t = 46,19 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$$

Digunakan pelat dengan tebal 50 mm untuk sambungan gusset plate fabrikasi.

5.13 Perencanaan Portal Akhir

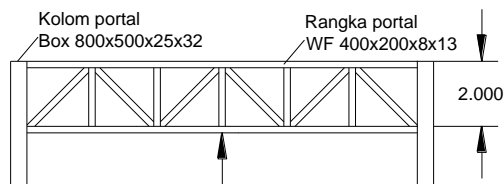
Portal akhir merupakan konstruksi yang meneruskan gaya dari ikatan angin busur dan struktur busur ke tumpuan. Analisa konstruksi portal akhir dihitung sebagai hubungan balok kolom pada konstruksi baja.



Gambar 5.38 Portal Akhir

5.13.1 Perencanaan Balok Portal Akhir

Balok portal akhir pada perencanaan jembatan ini menggunakan sistem rangka.



Gambar 5.39 Balok Portal Akhir

Dari analisa software Midas Civil, didapat gaya batang maksimal pada rangka balok portal akhir akibat kombinasi 4 sebesar:

Tabel 5.10 Gaya Batang Balok Portal Akhir

Frame	Axial (kN)	Shear y (kN)	Shear z (kN)	Torsi (kN.m)	Momen y (kN.m)	Momen z (kN.m)
1988	69,9	9,57	-16,32	1,16	43,21	36,56

Pada perencanaan ini, digunakan profil pipa Ø10” dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$D = 267,4 \text{ mm}$$

$$t = 6,6 \text{ mm}$$

$$A = 54 \text{ cm}^2$$

$$w = 42,45 \text{ kg/m}$$

$$I = 4.598,16 \text{ cm}^4$$

$$i = 9,2 \text{ cm}$$

$$Z_x = 343,916 \text{ cm}^3$$

$$E = 210.000 \text{ MPa}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$

- Kontrol batang tarik

Kontrol kekuatan leleh:

$$\phi P_n = \phi \times A_g \times f_y$$

$$= 0,9 \times 54 \text{ cm}^2 \times 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 199.260 \text{ kg} = 1.992,6 \text{ kN}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$69,9 \text{ kN} \leq 1.992,6 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan patah:

$$A_n = 85\% \times A_g$$

$$= 85\% \times 54 \text{ cm}^2$$

$$= 45,9 \text{ cm}^2$$

$$A_e = A_n \times U \rightarrow U = 1 \text{ (} l = 1,3D \text{)}$$

$$A_e = 45,9 \text{ cm}^2 \times 1 = 45,9 \text{ cm}^2$$

$$\phi P_n = \phi \times A_e \times f_u$$

$$= 0,75 \times 45,9 \text{ cm}^2 \times 5500 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 189.337,5 \text{ kg} = 1.893,37 \text{ kN}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$69,9 \text{ kN} \leq 1.893,37 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Flexural Buckling

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{267,4}{6,6} = 40,51$$

$$\lambda_R = \frac{0,45.E}{f_y} = \frac{0,45 \times 210.000}{410} = 230$$

Penampang kompak ($\lambda < \lambda_R$), maka:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} M_n &= 343,916 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1.410.055,6 \text{ kg.cm} \\ &= 141,0 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 141,0 \text{ kN.m} \\ &= 126,9 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Maka:

$$M_u \leq M_n$$

$$43,21 \text{ kN.m} \leq 126,9 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T \cdot T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$\begin{aligned} F_{cr} (1) &= \frac{1,23.E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{5/4}}} = \frac{1,23 \times 210.000}{\sqrt{\frac{2.000}{267,4} \left(\frac{267,4}{6,6} \right)^{5/4}}} \\ &= 9.341,7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} (2) = \frac{0,60.E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} = \frac{0,60 \times 210.000}{\left(\frac{267,4}{6,6} \right)^{3/2}}$$

$$= 488,58 \text{ MPa}$$

Fcr (1) dan Fcr (2) > 0,6.fy

Maka: Fcr = 0,6.fy

$$C = \frac{\pi(D - t)^2 t}{2} = \frac{\pi(267,4 - 6,6)^2 \times 6,6}{2}$$

$$= 705.145,9 \text{ mm}^3$$

$$= 705,14 \text{ cm}^3$$

$$T_n = 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 705,14 \text{ cm}^3$$

$$= 1.734.644,4 \text{ kg.cm}$$

$$= 173,46 \text{ kN.m}$$

$$\phi_T.T_n = 0,9 \times 173,46 \text{ kN.m}$$

$$= 156,11 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T.T_n$$

$$1,16 \text{ kN.m} \leq 156,11 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = F_{cr}.A_g/2$$

$$F_{cr}(1) = \frac{1,6.E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{5/4}}} \rightarrow L_v = L = 2.000 \text{ mm}$$

$$= \frac{1,6 \times 210.000}{\sqrt{\frac{2.000}{267,4} \left(\frac{267,4}{6,6} \right)^{5/4}}}$$

$$= 12.151,89 \text{ MPa}$$

$$= \frac{0,78.E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} = \frac{0,78 \times 210.000}{\left(\frac{267,4}{6,6} \right)^{3/2}}$$

$$F_{cr}(2) = \frac{0,78.E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} = \frac{0,78 \times 210.000}{\left(\frac{267,4}{6,6} \right)^{3/2}}$$

$$= 635,16 \text{ MPa}$$

Fcr (1) dan Fcr (2) > 0,6.fy

Maka: Fcr = 0,6.fy

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \times 4100 \times 54/2 \\
 &= 66.420 \text{ kg} \\
 &= 664,2 \text{ kN} \\
 \phi V_n &= 0,9 \times 664,2 \text{ kN} \\
 &= 597,78 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi V_n \\
 16,32 \text{ kN} &\leq 597,78 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{1,16}{156,11} = 0,007 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{69,9}{1.893,37} = 0,03 < 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned}
 M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\
 &= 343,916 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 1.410.055,6 \text{ kg.cm} \\
 &= 141,0 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

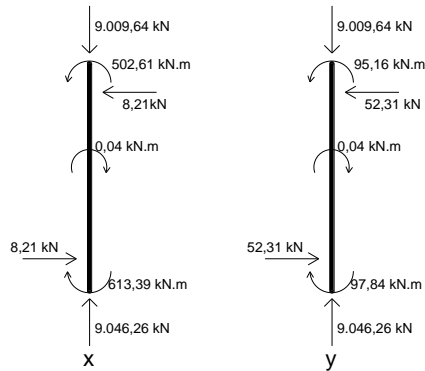
$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,85 \times 141,0 \text{ kN.m} \\
 &= 119,85 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\frac{69,9}{2 \times 1.893,37} + \left(\frac{43,21}{119,85} + \frac{36,56}{119,85} \right) < 1,0$$

$$0,67 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

5.13.2 Perencanaan Kolom Portal Akhir

Dari hasil analisa menggunakan software Midas Civil didapat gaya batang pada kolom (frame 231) dengan kombinasi 2 sebesar:



Gambar 5.40 Gaya Batang Kolom Portal

Digunakan profil Box 800 x 500 x 38 x 38, dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$A = 930,24 \text{ cm}^2$$

$$w = 730,23 \text{ kg/m}$$

$$i_x = 29,1 \text{ cm}$$

$$i_y = 20 \text{ cm}$$

$$I_x = 792.421,2 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 373.442,4 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 19.810,5 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 14.937,6 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 24.437,34 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 17.460,54 \text{ cm}^3$$

$$L = 862,5 \text{ cm}$$

$$E = 200.000 \text{ MPa}$$

$$f_y = 290 \text{ MPa}$$

$$f_u = 500 \text{ MPa}$$

a. Kontrol aksi balok

$$\lambda_x = \frac{KL}{i_x} = \frac{0,8 \times 862,5}{29,1} = 23,7$$

$$\lambda_y = \frac{KL}{i_y} = \frac{0,8 \times 862,5}{20} = 34,5$$

λ dipilih yang terbesar yaitu $\lambda_y = 34,5$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{34,5}{\pi} \sqrt{\frac{290}{200.000}} = 0,41$$

Untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$, maka:

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times 0,41)} = 1,08$$

$$\begin{aligned} N_n &= A_g \frac{f_y}{\omega} \\ &= 930,24 \text{ cm}^2 \times \frac{2900 \text{ kg/cm}^2}{1,08} = 2.497.866,6 \text{ kg} \\ &= 24.978,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi N_n = 0,85 \times 24.978,6 \text{ kN} = 21.231,81 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq \phi N_n$$

$$9.046,26 \text{ kN} \leq 21.231,81 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

b. Kontrol aksi kolom

- Terhadap sumbu x

$$\lambda_x = \frac{KL}{i_x} = \frac{0,8 \times 862,5}{29,1} = 23,7$$

$$\begin{aligned} N_{crbx} &= \frac{\pi^2 E A_g}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \times 10^6 \cdot 930,24}{23,7^2} \\ &= 32.690.988,97 \text{ kg} = 326.909,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{mx} &= 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \\ &= 0,6 - 0,4 \frac{502,61}{613,39} = 0,27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{bx} &= \frac{C_{mx}}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{crbx}} \right)} \geq 1 \\ &= \frac{0,27}{1 - \left(\frac{9.046,26}{326.909,88} \right)} \geq 1 = 0,27 < 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{bx} &= 1 \\
 M_{ux} &= \delta_{bx} \times M_{utx} \\
 &= 1 \times 613,39 \text{ kN.m} = 613,39 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Terhadap sumbu y

$$\lambda_y = \frac{KL}{i_y} = \frac{0,8 \times 862,5}{20} = 34,5$$

$$\begin{aligned}
 N_{crby} &= \frac{\pi^2 E A_g}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \times 10^6 \cdot 930,24}{34,5^2} \\
 &= 15.427.180,51 \text{ kg} = 154.271,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{my} &= 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \\
 &= 0,6 - 0,4 \frac{95,16}{97,84} = 0,21
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{by} &= \frac{C_{my}}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{crby}} \right)} \geq 1 \\
 &= \frac{0,21}{1 - \left(\frac{9.046,26}{154.271,8} \right)} \geq 1 = 0,22 < 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{by} &= 1 \\
 M_{uy} &= \delta_{by} \times M_{uty} \\
 &= 1 \times 97,84 \text{ kN.m} = 97,84 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol tekuk lokal

- Flens:

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{500}{2 \times 38} = 6,57$$

$$\lambda_p = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,7$$

$$\frac{b}{2tf} \leq \lambda_P \rightarrow \text{OK}$$

- Web $\rightarrow h = d - (2 \times tf + r)$
 $h = 800 - 2 \times 38 = 724 \text{ mm}$

$$\frac{h}{tw} = \frac{724}{38} = 19,05$$

$$\lambda_P = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{290}} = 39,05$$

$$\frac{h}{tw} \leq \lambda_P \rightarrow \text{OK}$$

- Momen terhadap sumbu x
 $M_{px} = Z_x \cdot f_y = 24.427,34 \text{ cm}^3 \times 2.900 \text{ kg/cm}^2$
 $= 70.839.286 \text{ kg.cm} = 7.083,92 \text{ kN.m}$
- Momen terhadap sumbu y
 $M_{py} = Z_y \cdot f_y = 17.460,54 \text{ cm}^3 \times 2.900 \text{ kg/cm}^2$
 $= 50.635.566 \text{ kg.cm} = 5.063,5 \text{ kN.m}$

d. Kontrol tekuk lateral

$$L_b = 862,5 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 20 \sqrt{\frac{200.000}{290}}$$

$$= 924,39 \text{ cm}$$

$L_b < L_p \rightarrow$ Bentang pendek

$$M_{nx} = M_{px} = Z_x \cdot f_y$$

$$M_{nx} = 24.427,34 \text{ cm}^3 \times 2.900 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 70.839.286 \text{ kg.cm} = 7.083,92 \text{ kN.m}$$

e. Kontrol interaksi kolom

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{9.046,26}{15.702,95} = 0,57 \geq 0,2$$

Maka persamaan yang dipakai:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\frac{9.046,26}{15.702,95} + \frac{8}{9} \left(\frac{613,39}{0,9 \times 7.083,92} + \frac{97,84}{0,9 \times 5.063,5} \right) < 1,0$$

$$0,67 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

5.13.3 Sambungan Balok Portal Akhir

a. Sambungan Baut

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

Ø baut = 22 mm proof stress = 585 MPa

fu baut = 825 MPa

tebal pelat yang digunakan = 19 mm

- Kekuatan ijin 1 baut

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load}$$

$$\text{Proof load} = 0,75 \times A_b \times \text{proof stress}$$

$$= 0,75 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 2,2^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 16.678,32 \text{ kg}$$

$$\mu = \text{koefisien gesek} = 0,35$$

$$m = \text{bidang geser} = 2$$

$$V_n = 1,13 \times 0,35 \times 2 \times 16.678,32 \text{ kg}$$

$$= 13.192,55 \text{ kg}$$

$$V_d = \phi \times V_n \rightarrow \phi = 1,0 \text{ untuk lubang standar}$$

$$= 1 \times 13.192,55 \text{ kg}$$

$$= 13.192,55 \text{ kg} = 131,92 \text{ kN}$$

- Jumlah baut

a. Beban yang bekerja arah x (Rx)

$$P = 69,9 \text{ kN}$$

$$\frac{M_y}{D} = \frac{43,21 \text{ kN.m}}{0,2674 \text{ m}} = 161,59 \text{ kN}$$

$$\frac{M_z}{D} = \frac{36,56 \text{ kN.m}}{0,2674 \text{ m}} = 136,72 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_x = 368,21 \text{ kN}$$

- b. Beban yang bekerja arah y (R_y)

$$V_y = 9,57 \text{ kN}$$

$$\frac{T}{D} = \frac{1,16 \text{ kN.m}}{0,2674 \text{ m}} = 4,33 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_y = 13,9 \text{ kN}$$

- c. Beban yang bekerja arah z (R_z)

$$V_z = 16,32 \text{ kN}$$

$$\frac{T}{D} = \frac{1,16 \text{ kN.m}}{0,2674 \text{ m}} = 4,33 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_z = 20,65 \text{ kN}$$

$$\text{Resultan gaya (R)} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= \sqrt{368,21^2 + 4,33^2 + 20,65^2} \\ &= 368,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka jumlah baut (n)

$$\frac{R_{\text{total}}}{V_d} = \frac{368,81 \text{ kN}}{131,92 \text{ kN}} = 2,79 \approx 3 \text{ baut}$$

- Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=2,2 \text{ cm}$)

$$3d < S < 15tp$$

$$6,6 \text{ cm} < S < 15 \text{ cm}$$

S diambil 8,4 cm.

- Jarak baut ke tepi sambungan

$$1,5d < S < (4tp+100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3,03 \text{ cm} < S < 17,6 \text{ cm atau } 20 \text{ cm}$$

S diambil 5 cm.

- b. Sambungan Las

$$V_u = 16,32 \text{ kN} = 16.320 \text{ N}$$

$$M_u = 43,21 \text{ kN.m} = 43,21 \times 10^4 \text{ N.mm}$$

$$L_w = 300 \text{ mm}$$

$$f_y = \frac{V_u}{A} = \frac{16.320 \text{ N}}{2 \times 1 \times 300 \text{ mm}} = 27,2 \text{ N/mm}$$

$$I_x = 2 \times \frac{1 \times 300^3}{12} = 4,5 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

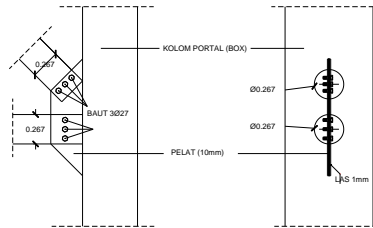
$$f'_x = \frac{M_{u.c}}{I_x} = \frac{43,21 \times 10^4 \times 150}{4,5 \times 10^6} = 14,4 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n \text{ perlu} &= \sqrt{f'_y{}^2 + f''_x{}^2} \\ &= \sqrt{27,2^2 + 14,4^2} \\ &= 30,77 \text{ N/mm} \rightarrow \text{untuk 1 mm las} \end{aligned}$$

Tahanan las:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi T_e 0,6 f_{u_w} \\ &= 0,75 \times 0,707 a \times 0,6 \times 490 = 155,89 a \end{aligned}$$

$$a \text{ perlu} = \frac{30,77}{155,89} = 0,2 \text{ mm} \approx 1 \text{ mm}$$



Gambar 5.41 Sambungan Portal Akhir

5.13.4 Sambungan Kolom Portal Akhir

Digunakan High Tension Bolt (Baut mutu tinggi) tipe A325 dengan spesifikasi:

$$\phi \text{ baut} = 32 \text{ mm} \quad \text{proof stress} = 585 \text{ MPa}$$

$$f_u \text{ baut} = 825 \text{ MPa}$$

tebal pelat yang digunakan = 19 mm

- Kekuatan ijin 1 baut

$$V_n = 1,13 \times \mu \times m \times \text{proof load}$$

$$\text{Proof load} = 0,75 \times A_b \times \text{proof stress}$$

$$= 0,75 \times (0,25 \times \pi \times 3,2^2 \text{ cm}) \times 5.850 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 35.286,36 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \mu &= \text{koefisien gesek} = 0,35 \\
 m &= \text{bidang geser} = 2 \\
 V_n &= 1,13 \times 0,35 \times 1 \times 35.286,36 \text{ kg} \\
 &= 27.911,5 \text{ kg} \\
 V_d &= \emptyset \times V_n \rightarrow \emptyset = 1,0 \text{ untuk lubang standar} \\
 &= 1 \times 27.911,5 \text{ kg} \\
 &= 27.911,5 \text{ kg} = 279,11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

• Jumlah baut

a. Beban yang bekerja arah x (R_x)

$$P = 9.046,25 \text{ kN}$$

$$\frac{M_y}{H} = \frac{613,39 \text{ kN.m}}{0,8 \text{ m}} = 766,73 \text{ kN}$$

$$\frac{M_z}{B} = \frac{97,84 \text{ kN.m}}{0,5 \text{ m}} = 195,68 \text{ kN}$$

$$\text{Total } R_x = 10.008,66 \text{ kN}$$

b. Beban yang bekerja arah y (R_y)

$$V_y = 8,21 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 &\frac{\left(\frac{B}{B+H} \right) \times T}{H} = \\
 &\frac{\left(\frac{0,5}{0,5+0,8} \right) \times 0,04 \text{ kN.m}}{0,8} = 0,02 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total } R_y = 8,23 \text{ kN}$$

c. Beban yang bekerja arah z (R_z)

$$V_z = 52,31 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 &\frac{\left(\frac{H}{B+H} \right) \times T}{B} = \\
 &\frac{\left(\frac{0,8}{0,5+0,8} \right) \times 0,04 \text{ kN.m}}{0,5} = 0,05 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total } R_z = 52,36 \text{ kN}$$

$$\text{Resultan gaya (R)} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= \sqrt{10.008,66^2 + 8,23^2 + 52,36^2} \\ &= 10.008,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka jumlah baut (n)

$$\frac{R_{\text{total}}}{V_d} = \frac{10.008,8 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 35,85 \approx 40 \text{ baut}$$

- Jarak baut

- Jarak antara baut ($d=3,2 \text{ cm}$)

$$3d < S < 15t_p$$

$$9,6 \text{ cm} < S < 28,5 \text{ cm}$$

S diambil 10 cm.

- Jarak baut ke tepi sambungan

$$1,5d < S < (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3,03 \text{ cm} < S < 17,6 \text{ cm atau } 20 \text{ cm}$$

S diambil 5 cm.

5.14 Kontrol Lendutan

Lendutan ditinjau pada bagian batang tarik (*Main Girder*) yang terjadi akibat beban layan jembatan.

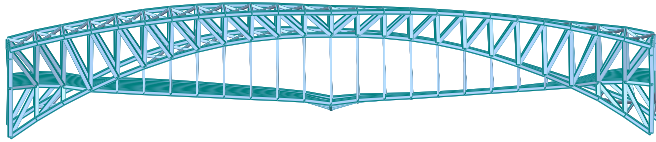
Menurut RSNI T-03-2005 pasal 4.7.2, lendutan maksimum untuk balok di atas dua tumpuan atau gelagar menerus yaitu $L/800$.

$$L = \text{Panjang bentang batang tarik} = 144.000 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{L}{800} = \frac{144.000 \text{ mm}}{800} = 180 \text{ mm}$$

Dari hasil analisa software Midas Civil, diperoleh lendutan sebesar:

$$\Delta = 144 \text{ mm}$$



Gambar 5.42 Lendutan Jembatan Akibat Beban Layan
Maka:

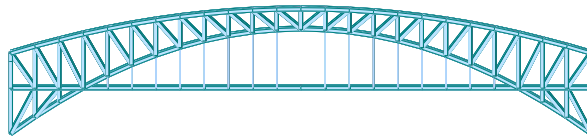
$$\Delta \leq \bar{\Delta}$$

$$144 \text{ mm} \leq 180 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

5.15 Kontrol *Accidental Load*

Kontrol *accidental load* merupakan kondisi jembatan dimana mengalami kegagalan struktur batang penggantung. Kontrol kegagalan ini diperhitungkan untuk mengetahui performa jembatan setelah mengalami kerusakan serta memberikan waktu untuk tim *maintenance* untuk memperbaiki kerusakan jembatan.

Dalam perhitungan ini, hanger yang disimulasikan mengalami kegagalan yaitu hanger terpanjang pada bagian tengah jembatan.



Gambar 5.43 Kegagalan Struktur Hanger

Pada pemodelan ini, pembebanan yang bekerja tetap seperti semula untuk memperoleh gaya maksimum serta menentukan dimensi batang.

5.15.1 Hasil Analisa Struktur

Gaya batang maksimum yang terjadi akibat kombinasi pembebanan yaitu:

Tabel 5.11 Hasil Analisa Gaya Batang

Elemen	Aksial (kN)	Shear (kN)	Torsi (kN.m)	Momen x (kN.m)	Momen y (kN.m)	Frame	Komb
Busur Atas	-15.354,68	-110,42	62,38	2.628,88	293,46	225	2
Busur Bawah	-16.143,4	1956,13	-288,81	3.503,09	230,94	153	2
Diagonal	8.949,7	-	-	-	-	261	1
Vertikal	-9.068,96	-	-	-	-	256	1
Main Girder	22.441,13	-286,25	-2,6	3.827,41	-404,97	280	5

5.15.2 Kontrol Penampang Busur

a. Penampang Busur Atas

Profil yang dipakai: Box 800x500x25x38

$$A = 742 \text{ cm}^2$$

$$w = 582,47 \text{ kg/m}$$

$$i_x = 30,93 \text{ cm}$$

$$i_y = 19,54 \text{ cm}$$

$$I_x = 710.195,5 \text{ cm}^4$$

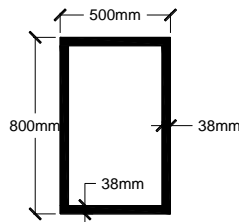
$$I_y = 283.545,83 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 21.030,2 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 13.347,5 \text{ cm}^3$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$

**Gambar 5.44** Penampang Box Busur Atas

• Kontrol Batang Tekan

Cek dimensi flens untuk menghindari terjadinya local buckling pada badan.

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{500}{2 \times 38} = 6,57$$

$$\lambda_R = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{410}} = 30,86$$

$$\frac{b}{2t_f} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Cek dimensi web untuk menghindari terjadinya flexural buckling pada badan

$$h = D - (2 \times t_f)$$

$$h = 800 - (2 \times 38) = 724 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{25} = 28,96$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{410}} = 32,84$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Batasan kelangsingan untuk struktur tekan yaitu:

$$\lambda = \frac{k \cdot l_x}{i_x} < 200$$

$$\rightarrow k = 0,9 \text{ (batang dilas penuh)}$$

$$l = \text{panjang tekuk} = 6.173 \text{ mm}$$

$$i_x = 309,3 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{0,9 \times 6.173}{309,3} < 200 = 17,9 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{17,9}{\pi} \sqrt{\frac{410}{210000}}$$

$$\lambda_c = 0,25$$

Untuk:

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \rightarrow \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,25}$$

$$\omega = 1,0$$

Kekuatan nominal:

$$N_n = \phi A_g \frac{f_y}{\omega}$$

$$N_n = 0,85 \times 742 \text{ cm}^2 \times 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_n = 2.585.870 \text{ kg} = 25.858,7 \text{ kN}$$

Bila:

$$N_u = 15.354,68 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq N_n$$

$$15.354,68 \text{ kN} \leq 25.858,7 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Flexural Buckling*

Penampang kompak ($\lambda < \lambda_R$), maka:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$M_n = 21.030,2 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 86.223.820 \text{ kg.cm}$$

$$= 8.622,38 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times 8.622,38 \text{ kN.m}$$

$$= 7.329,02 \text{ kN.m}$$

Bila:

$$M_u = 2.628,88 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$M_u \leq M_n$$

$$2.628,88 \text{ kN.m} \leq 7.329,02 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{25} = 28,96$$

$$2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,45 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 55,44$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka } F_{cr} = 0,6.f_y$$

$$\begin{aligned} C &= 2(B-t)(H-t)t - 4,5(4-\pi)t^3 \\ &= 2(500-38)(800-25) \times 38 - 4,5(4-\pi) \times 38^3 \\ &= 26.999.838,62 \text{ mm}^3 \\ &= 26.999,83 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 26.999,83 \text{ cm}^3 \\ &= 66.419.581,8 \text{ kg.cm} \\ &= 6.641,95 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_T.T_n &= 0,9 \times 6.641,95 \text{ kN.m} \\ &= 5.977,75 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Bila:

$$T_u = 62,38 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T.T_n$$

$$62,38 \text{ kN.m} \leq 5.977,75 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = 0,6.f_y.A_w.C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{25} = 28,96$$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_v.E}{f_y}} \rightarrow K_v = 5 \text{ (Untuk penampang box)}$$

$$1,1 \sqrt{\frac{5 \times 210.000}{410}} = 55,66$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{K_v.E}{f_y}} \rightarrow C_v = 1$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times 4100 \times (2 \times 72,4 \times 2,5) \times 1 \\ &= 890.520 \text{ kg} \\ &= 8.905,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 8.905,2 \text{ kN}$$

$$= 8.014,68 \text{ kN}$$

Bila:

$$V_u = 110,42 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$110,42 \text{ kN} \leq 8.014,68 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{62,38}{5.977,75} = 0,01 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{15.354,68}{25.858,7} = 0,59 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 13.347,5 \text{ cm}^3 \times 4.100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 54.724.750 \text{ kg.cm} \\ &= 5.472,47 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,85 \times 5.472,47 \text{ kN.m} \\ &= 4.651,6 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\frac{15.354,78}{25.858,7} + \frac{8}{9} \left(\frac{2.628,88}{7.329,02} + \frac{293,46}{4.651,6} \right) < 1,0$$

$$0,96 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

- b. Penampang Busur Bawah

Profil yang dipakai: Box 800x500x38x38

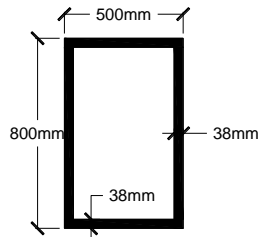
$$A = 930,24 \text{ cm}^2 \quad w = 730,23 \text{ kg/m}$$

$$i_x = 29,1 \text{ cm} \quad i_y = 20 \text{ cm}$$

$$I_x = 792.421,2 \text{ cm}^4 \quad I_y = 373.442,4 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 24.437,34 \text{ cm}^3 \quad Z_y = 17.460,54 \text{ cm}^3$$

$$f_y = 410 \text{ MPa} \quad f_u = 550 \text{ MPa}$$



Gambar 5.45 Penampang Box Busur Bawah

- Kontrol Batang Tekan
Cek dimensi flens untuk menghindari terjadinya local buckling pada badan.

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{500}{2 \times 38} = 6,57$$

$$\lambda_R = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{410}} = 30,86$$

$$\frac{b}{2t_f} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Cek dimensi web untuk menghindari terjadinya flexural buckling pada badan

$$h = D - (2 \times t_f)$$

$$h = 800 - (2 \times 38) = 724 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{38} = 19,05$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{410}} = 32,84$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Batasan kelangsingan untuk struktur tekan yaitu:

$$\lambda = \frac{k \cdot l_x}{i_x} < 200$$

→ $k = 0,9$ (batang dilas penuh)
 $l = \text{panjang tekuk} = 6.173 \text{ mm}$
 $i_x = 291 \text{ mm}$

$$\lambda = \frac{0,9 \times 6.173}{291} < 200 = 19,09 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{19,09}{\pi} \sqrt{\frac{410}{210000}}$$

$$\lambda_c = 0,26$$

Untuk:

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \rightarrow \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,26}$$

$$\omega = 1,0$$

Kekuatan nominal:

$$N_n = \phi A_g \frac{f_y}{\omega}$$

$$N_n = 0,85 \times 930,24 \text{ cm}^2 \times 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_n = 3.241.886,4 \text{ kg} = 32.418,86 \text{ kN}$$

Bila:

$$N_u = 16.143,4 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq N_n$$

$$16.143,4 \text{ kN} \leq 32.418,86 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Flexural Buckling*

Penampang kompak ($\lambda < \lambda_R$), maka:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$M_n = 24.437,34 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 100.193.094 \text{ kg.cm}$$

$$= 10.019,31 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times 10.019,31 \text{ kN.m}$$

$$= 8.516,41 \text{ kN.m}$$

Bila:

$$Mu = 3.404,34 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$Mu \leq Mn$$

$$3.503,09 \text{ kN.m} \leq 8.516,41 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T \cdot T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{38} = 19,05$$

$$2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,45 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 55,44$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka } F_{cr} = 0,6 \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} C &= 2(B-t)(H-t)t - 4,5(4-\pi)t^3 \\ &= 2(500-38)(800-38) \times 38 - 4,5(4-\pi) \times 38^3 \\ &= 26.543.382,62 \text{ mm}^3 \\ &= 26.543,38 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 26.543,38 \text{ cm}^3 \\ &= 65.296.714,8 \text{ kg.cm} \\ &= 6.529,67 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_T \cdot T_n &= 0,9 \times 6.529,67 \text{ kN.m} \\ &= 5.876,7 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Bila:

$$Tu = 288,81 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$Tu \leq \phi_T \cdot T_n$$

$$288,81 \text{ kN.m} \leq 5.876,7 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{724}{38} = 19,05$$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} \rightarrow K_v = 5 \text{ (Untuk penampang box)}$$

$$1,1 \sqrt{\frac{5 \times 210.000}{410}} = 55,66$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} \rightarrow C_v = 1$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times 4100 \times (2 \times 72,4 \times 3,8) \times 1 \\ &= 1.353.590,4 \text{ kg} \\ &= 13.535,9 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 0,9 \times 13.535,9 \text{ kN} \\ &= 12.182,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bila:

$$V_u = 1.956,13 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$1.956,13 \text{ kN} \leq 12.182,3 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{288,81}{5.876,7} = 0,05 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{16.143,4}{32.418,86} = 0,5 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

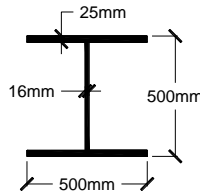
$$M_{uy} = Z_y \cdot f_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 17.460,54 \text{ cm}^3 \times 4.100 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 71.588.214 \text{ kg.cm} \\
 &= 7.158,8 \text{ kN.m} \\
 \varnothing M_n &= 0,85 \times 7.158,8 \text{ kN.m} \\
 &= 6.084,98 \text{ kN.m} \\
 \frac{16.143,4}{32.418,86} + \frac{8}{9} \left(\frac{3.503,09}{8.516,41} + \frac{230,94}{6.084,98} \right) &< 1,0 \\
 0,9 < 1 &\rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

c. Penampang Busur Diagonal

Profil yang dipakai: WF 500x500x16x25

$$\begin{aligned}
 A &= 322 \text{ cm}^2 & w &= 252,7 \text{ kg/m} \\
 i_x &= 21,82 \text{ cm} & i_y &= 12,72 \text{ cm} \\
 I_x &= 153.295,83 \text{ cm}^4 & I_y &= 52.098,69 \text{ cm}^4 \\
 Z_x &= 6.747,5 \text{ cm}^3 & Z_y &= 3.153,8 \text{ cm}^3 \\
 f_y &= 410 \text{ MPa} & f_u &= 550 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.46 Penampang WF Batang Diagonal

- Kontrol batang tarik
Kontrol kelangsingan sebagai batang tarik:

$$\lambda_{\min} = \frac{kL}{i_{\min}} \leq 300 \rightarrow L = 10.507 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{1 \times 10.507}{218,2} = 48,15 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan leleh:

$$\begin{aligned}
 \varnothing P_n &= \varnothing \times A_g \times f_y \\
 &= 0,9 \times 322 \text{ cm}^2 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 1.188.180 \text{ kg} = 11.881,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Bila:

$$P_u = 8.949,7 \text{ kN}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$8.949,7 \text{ kN} \leq 11.881,8 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan patah:

$$A_n = 85\% \times A_g$$

$$= 85\% \times 322 \text{ cm}^2$$

$$= 273,7 \text{ cm}^2$$

$$\phi P_n = \phi \times A_n \times f_u$$

$$= 0,75 \times 273,7 \text{ cm}^2 \times 5500 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 1.129.012,5 \text{ kg} = 11.290,1 \text{ kN}$$

Bila:

$$P_u = 8.949,7 \text{ kN}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$8.949,7 \text{ kN} \leq 11.290,1 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

d. Penampang Busur Vertikal

Profil yang dipakai: WF 500x500x16x25

$$A = 322 \text{ cm}^2$$

$$w = 252,7 \text{ kg/m}$$

$$i_x = 21,82 \text{ cm}$$

$$i_y = 12,72 \text{ cm}$$

$$I_x = 153.295,83 \text{ cm}^4$$

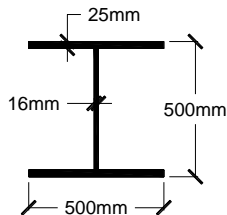
$$I_y = 52.098,69 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 6.747,5 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 3.153,8 \text{ cm}^3$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$



Gambar 5.47 Penampang WF Batang Vertikal

- Kontrol batang tekan
Cek dimensi flens untuk menghindari terjadinya local buckling pada badan.

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{500}{2 \times 25} = 10$$

$$\lambda_R = \frac{225}{\sqrt{f_y}} = \frac{225}{\sqrt{410}} = 12,34$$

$$\frac{b}{2t_f} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Cek dimensi web untuk menghindari terjadinya flexural buckling pada badan

$$h = D - (2 \times (t_f + r))$$

$$h = 500 - (2 \times 25) = 450 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{450}{16} = 28,125$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{410}} = 32,84$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_R \rightarrow \text{OK}$$

Batasan kelangsingan untuk struktur tekan yaitu:

$$\lambda = \frac{l_{kx}}{i_x} < 200 \rightarrow l = \text{panjang tekuk} = 10.382 \text{ mm}$$

$$i_x = 316,3 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{10.382}{218,2} < 200 = 47,5 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{47,5}{\pi} \sqrt{\frac{410}{210000}}$$

$$\lambda_c = 0,66$$

Untuk:

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \rightarrow \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,66}$$

$$\omega = 1,23$$

Kekuatan nominal:

$$N_n = \phi A_g \frac{f_y}{\omega}$$

$$N_n = 0,85 \times 322 \text{ cm}^2 \times \frac{4100 \text{ kg/cm}^2}{1,23}$$

$$N_n = 912.333,3 \text{ kg} = 9.123,33 \text{ kN}$$

Bila:

$$N_u = 9.068,96 \text{ kN}$$

Maka:

$$N_u \leq N_n$$

$$9.068,96 \text{ kN} \leq 9.123,33 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

e. Kontrol Penampang Main Girder

Profil yang dipakai: Box 800x600x45x45

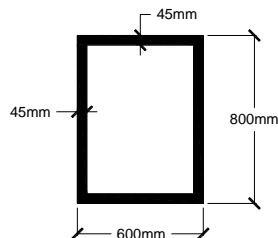
$$A = 1.179 \text{ cm}^2 \quad w = 925,51 \text{ kg/m}$$

$$i_x = 29,68 \text{ cm} \quad i_y = 23,5 \text{ cm}$$

$$I_x = 1.038.878,3 \text{ cm}^4 \quad I_y = 655.148,3 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 31.727,25 \text{ cm}^3 \quad Z_y = 25.832,25 \text{ cm}^3$$

$$f_y = 410 \text{ MPa} \quad f_u = 550 \text{ MPa}$$



Gambar 5.48 Penampang Box Main Girder

- Kontrol batang tarik
Kontrol kelangsingan sebagai batang tarik:

$$\lambda_{\min} = \frac{kL}{i_{\min}} \leq 300 \rightarrow L = 6.000 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{1 \times 6.000}{296,8} = 20,21 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan leleh:

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 1.179 \text{ cm}^2 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 4.350.510 \text{ kg} = 43.505,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bila:

$$P_u = 22.441,13 \text{ kN}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$22.441,13 \text{ kN} \leq 43.505,1 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol kekuatan patah:

$$\begin{aligned} A_n &= 85\% \times A_g \\ &= 85\% \times 1.179 \text{ cm}^2 \\ &= 1.002,15 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_e = A_n \times U$$

$$\begin{aligned} \rightarrow U &= 1 - \frac{\bar{x}}{l} \rightarrow \bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)} \\ \bar{x} &= \frac{600^2}{4(600+800)} = 64,28 \end{aligned}$$

$$U = 1 - \frac{64,28}{800} = 0,92$$

$$A_e = 1.002,15 \text{ cm}^2 \times 0,92 = 921,97 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 921,97 \text{ cm}^2 \times 5.500 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 3.803.126,25 \text{ kg} = 38.031,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bila:

$$P_u = 22.441,13 \text{ kN}$$

Maka:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$22.441,13 \text{ kN} \leq 38.031,26 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Flexural Buckling*

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{600}{2 \times 45} = 6,67$$

$$\lambda_R = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{410}} = 30,86$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{800 - (2 \times 45)}{45} = 15,78$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{410}} = 32,84$$

Penampang kompak \rightarrow Analisa plastis

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$M_n = 31.727,25 \text{ cm}^3 \times 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 130.081.725 \text{ kg.cm}$$

$$= 13.008,17 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times 13.008,17 \text{ kN.m}$$

$$= 11.056,94 \text{ kN.m}$$

Bila:

$$M_u = 3.827,41 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$3.827,41 \text{ kN.m} \leq 11.056,94 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol *Torsional Buckling*

Menurut SNI 1729-2105, nilai torsi desain adalah:

$$\phi_T T_n \rightarrow \phi_T = 0,9$$

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{710}{45} = 15,78$$

$$2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,45 \sqrt{\frac{210.000}{410}} = 55,44$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow \text{Maka } F_{cr} = 0,6.f_y$$

$$\begin{aligned} C &= 2(B-t)(H-t)t - 4,5(4-\pi)t^3 \\ &= 2(600-45)(800-45) \times 45 - 4,5(4-\pi) \times 45^3 \\ &= 37.360.249,34 \text{ mm}^3 \\ &= 37.360,25 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0,6 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 37.360,25 \text{ cm}^3 \\ &= 91.906.215 \text{ kg.cm} \\ &= 9.190,62 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_T.T_n &= 0,9 \times 9.190,62 \text{ kN.m} \\ &= 8.271,55 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Bila:

$$T_u = 2,6 \text{ kN.m}$$

Maka:

$$T_u \leq \phi_T.T_n$$

$$2,6 \text{ kN.m} \leq 8.271,55 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Geser

Menurut SNI 1729-2105, nilai geser desain yaitu:

$$V_n = 0,6.f_y.A_w.C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{710}{45} = 15,78$$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_v.E}{f_y}} \rightarrow K_v = 5 \text{ (Untuk penampang box)}$$

$$1,1 \sqrt{\frac{5 \times 210.000}{410}} = 55,66$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{K_v.E}{f_y}} \rightarrow C_v = 1$$

$$V_n = 0,6 \times 4100 \times (2 \times 71 \times 4,5) \times 1$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.571.940 \text{ kg} \\
 &= 15.719,4 \text{ kN} \\
 \emptyset V_n &= 0,9 \times 15.719,4 \text{ kN} \\
 &= 14.147,46 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Bila:

$$V_u = 286,25 \text{ kN}$$

Maka:

$$V_u \leq \emptyset V_n$$

$$286,25 \text{ kN} \leq 14.147,46 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{2,8}{8.271,55} = 0,0003 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{22.441,13}{38.031,26} = 0,6 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\begin{aligned}
 M_{uy} &= Z_y \cdot f_y \\
 &= 25.832,25 \text{ cm}^3 \times 4.100 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 105.912.225 \text{ kg.cm} \\
 &= 10.591,2 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset M_n &= 0,85 \times 10.591,2 \text{ kN.m} \\
 &= 9.002,52 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\frac{22.441,13}{38.031,26} + \frac{8}{9} \left(\frac{3.827,41}{11.056,94} + \frac{404,97}{9.002,52} \right) < 1,0$$

$$0,94 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

Dari hasil kontrol penampang, didapat profil yang digunakan masih mampu menahan kegagalan struktur berupa batang penggantung yang terputus.

5.16 Desain Perletakan

Perletakan yang digunakan dalam jembatan Sembayat Baru II ini adalah perletakan tipe pot bearing produksi Technoslide (Pty) Ltd.

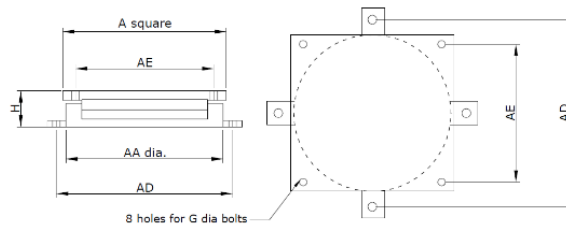
Penggunaan pot bearing disesuaikan dengan reaksi yang terjadi pada 4 perletakan jembatan.



Gambar 5.49 Perletakan Jembatan

Reaksi perletakan yang ditinjau berdasarkan kombinasi 3, dimana beban gempa dominan bekerja.

a. Fixed Bearing



Gambar 5.50 Bearing Tipe Fixed

$$F_x = 886,81 \text{ kN}$$

$$F_y = 69,23 \text{ kN}$$

$$F_z = 9.849,37 \text{ kN}$$

$$\rightarrow \text{Resultan reaksi horisontal} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

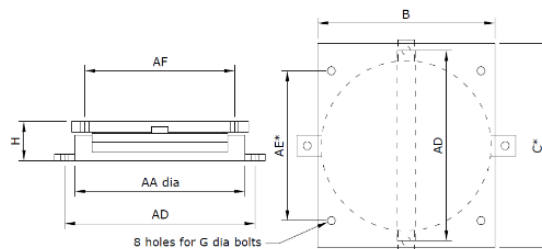
$$= \sqrt{886,81^2 + 69,23^2} = 889,5 \text{ kN}$$

Dari reaksi gaya yang bekerja, digunakan bearing tipe BTF 1000/20, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 5.12 Tabel Spesifikasi Bearing Tipe Fixed

Bearing Reference No.	Max.Vert. Load kN	Max.Tran. Load kN	Base dia. AA mm	T/P sq B mm	Hole ctrs AD mm	Hole ctrs AE mm	Hole dia G mm	Height H mm	Mass kg
BTF50/20	500	100	209	179	265	145	14	49	12
BTF75/20	750	150	248	219	310	170	18	51	18
BTF100/20	1000	190	281	253	345	205	18	56	25
BTF125/20	1250	230	309	282	370	220	18	64	34
BTF150/20	1500	270	333	309	400	230	22	70	44
BTF175/20	1750	310	358	334	425	255	22	73	53
BTF200/20	2000	350	384	357	455	275	22	79	65
BTF250/20	2500	390	425	399	500	305	26	84	85
BTF300/20	3000	440	466	437	540	340	26	88	106
BTF350/20	3500	480	492	472	570	375	26	102	141
BTF400/20	4000	520	525	505	605	410	27	107	168
BTF450/20	4500	560	556	536	645	415	33	113	200
BTF500/20	5000	600	585	565	675	385	33	116	225
BTF550/20	5500	700	612	592	700	410	33	120	255
BTF600/20	6000	800	639	619	730	440	33	124	288
BTF700/20	7000	900	688	668	790	450	39	131	352
BTF800/20	8000	980	734	714	835	500	39	143	440
BTF900/20	9000	1060	778	758	885	540	39	147	503
BTF1000/20	10000	1140	819	799	925	585	39	156	597
BTF1200/20	12000	1220	855	835	1000	600	45	163	733
BTF1400/20	14000	1300	965	945	1080	695	45	176	915
BTF1600/20	16000	1400	1030	1010	1145	760	45	185	1097
BTF1800/20	18000	1500	1091	1071	1210	820	45	194	1288
BTF2000/20	20000	1600	1149	1129	1265	875	45	203	1489

b. Unilateral Bearing (X direction)



Gambar 5.51 Bearing Tipe Unilateral

$$F_y = 30,49 \text{ kN}$$

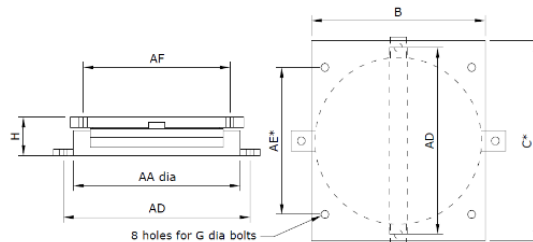
$$F_z = 9.689,08 \text{ kN}$$

Dari reaksi gaya yang bekerja, digunakan bearing tipe BTU 1000/20/*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 5.13 Tabel Spesifikasi Bearing Tipe Unilateral

Bearing Reference No.	Max.vert. Load kN	Max.horiz load kN	Base dia AA mm	PI width B mm	PI length C* mm	Hole ctrs AD mm	Hole ctrs AE* mm	Hole ctrs AF mm	Hole dia G mm	Height H mm	Mass kg
BTU50/20/*	500	100	209	209	242	265	205	175	14	71	20
BTU75/20/*	750	100	242	242	271	295	235	205	14	74	27
BTU100/20/*	1000	100	273	273	296	325	260	235	14	75	34
BTU125/20/*	1250	125	302	302	318	365	255	240	18	78	41
BTU150/20/*	1500	150	329	329	336	390	265	265	18	84	53
BTU175/20/*	1750	175	354	354	357	415	290	290	18	88	62
BTU200/20/*	2000	200	377	377	377	440	315	315	18	90	71
BTU250/20/*	2500	250	419	419	419	490	340	340	22	101	99
BTU300/20/*	3000	270	457	457	457	530	375	375	22	105	120
BTU350/20/*	3500	298	492	492	492	565	410	410	22	116	157
BTU400/20/*	4000	320	525	525	525	605	430	430	27	120	183
BTU450/20/*	4500	338	556	556	556	635	460	460	27	125	214
BTU500/20/*	5000	375	585	585	585	665	440	440	27	127	237
BTU550/20/*	5500	385	612	612	612	690	470	470	27	132	270
BTU600/20/*	6000	420	639	639	639	720	495	495	27	136	304
BTU700/20/*	7000	455	688	688	688	780	510	510	33	140	357
BTU800/20/*	8000	520	734	734	734	825	555	555	33	149	435
BTU900/20/*	9000	585	778	778	778	870	600	600	33	155	498
BTU1000/20/*	10000	650	819	819	819	910	640	640	33	165	591
BTU1200/20/*	12000	730	885	885	885	985	715	715	33	174	736
BTU1400/20/*	14000	840	965	965	965	1070	750	750	39	187	920
BTU1600/20/*	16000	880	1030	1030	1030	1135	815	815	39	193	1075
BTU1800/20/*	18000	900	1091	1091	1091	1195	875	875	39	200	1248
BTU2000/20/*	20000	1000	1149	1149	1149	1255	935	935	39	209	1440

c. Unilateral Bearing (Y direction)

**Gambar 5.52** Bearing Tipe Unilateral

$$F_x = 870,65 \text{ kN}$$

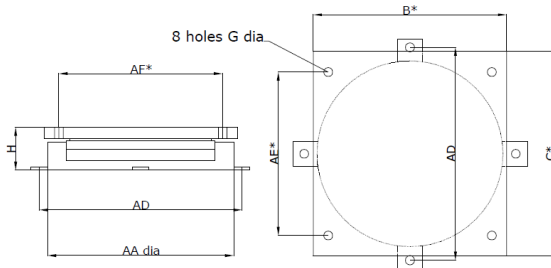
$$F_z = 9.859,9 \text{ kN}$$

Dari reaksi gaya yang bekerja, digunakan bearing tipe BTU 1000/20/*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 5.14 Tabel Spesifikasi Bearing Tipe Unilateral

Bearing Reference No.	Max.vert. Load kN	Max.horiz load kN	Base dia AA mm	PI width B mm	PI length C* mm	Hole ctrs AD mm	Hole ctrs AE* mm	Hole ctrs AF mm	Hole dia G mm	Height H mm	Mass kg
BTU50/20/*	500	100	209	209	242	265	205	175	14	71	20
BTU75/20/*	750	100	242	242	271	295	235	205	14	74	27
BTU100/20/*	1000	100	273	273	296	325	260	235	14	75	34
BTU125/20/*	1250	125	302	302	318	365	255	240	18	78	41
BTU150/20/*	1500	150	329	329	336	390	265	265	18	84	53
BTU175/20/*	1750	175	354	354	357	415	290	290	18	88	62
BTU200/20/*	2000	200	377	377	377	440	315	315	18	90	71
BTU250/20/*	2500	250	419	419	419	490	340	340	22	101	99
BTU300/20/*	3000	270	457	457	457	530	375	375	22	105	120
BTU350/20/*	3500	298	492	492	492	565	410	410	22	116	157
BTU400/20/*	4000	320	525	525	525	605	430	430	27	120	183
BTU450/20/*	4500	338	556	556	556	635	460	460	27	125	214
BTU500/20/*	5000	375	585	585	585	665	440	440	27	127	237
BTU550/20/*	5500	385	612	612	612	690	470	470	27	132	270
BTU600/20/*	6000	420	639	639	639	720	495	495	27	136	304
BTU700/20/*	7000	455	688	688	688	780	510	510	33	140	357
BTU800/20/*	8000	520	734	734	734	825	555	555	33	149	435
BTU900/20/*	9000	585	778	778	778	870	600	600	33	155	498
BTU1000/20/*	10000	650	819	819	819	910	640	640	33	165	591
BTU1200/20/*	12000	730	885	885	885	985	715	715	33	174	706
BTU1400/20/*	14000	840	965	965	965	1070	750	750	39	187	920
BTU1600/20/*	16000	880	1030	1030	1030	1135	815	815	39	193	1075
BTU1800/20/*	18000	900	1091	1091	1091	1195	875	875	39	200	1248
BTU2000/20/*	20000	1000	1149	1149	1149	1255	935	935	39	209	1440

d. Multilateral Bearing

**Gambar 5.53** Bearing Tipe Free

$$F_z = 9.716,25 \text{ kN}$$

Dari reaksi gaya yang bekerja, digunakan bearing tipe BTA 1000/20/*/*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 5.15 Tabel Spesifikasi Bearing Tipe Free

Bearing Reference No.	Max. vert. load kN	Base dia. AA mm	PI width B mm	PI length C mm	Hole ctrs AD mm	Hole ctrs AE* mm	Hole ctrs AF* mm	Hole dia G mm	Height H mm	Net mass kg
BTAS0/20/*/*	500	197	207	207	250	170	170	14	49	10
BTAS75/20/*/*	750	234	236	236	290	200	200	14	50	13
BTA100/20/*/*	1000	265	265	265	320	230	230	14	57	20
BTA125/20/*/*	1250	293	293	293	345	245	245	14	64	27
BTA150/20/*/*	1500	317	317	317	370	270	270	14	70	36
BTA175/20/*/*	1750	342	342	342	395	295	295	14	73	44
BTA200/20/*/*	2000	366	366	366	420	320	320	14	78	53
BTA250/20/*/*	2500	409	409	409	470	345	345	18	84	72
BTA300/20/*/*	3000	450	450	450	510	385	385	18	89	92
BTA350/20/*/*	3500	472	472	472	535	410	410	18	100	117
BTA400/20/*/*	4000	505	505	505	565	440	440	18	104	141
BTA450/20/*/*	4500	536	536	536	595	470	470	18	111	170
BTA500/20/*/*	5000	565	565	565	625	470	470	18	116	194
BTA550/20/*/*	5500	592	592	592	655	495	495	18	120	223
BTA600/20/*/*	6000	619	619	619	680	525	525	18	124	252
BTA700/20/*/*	7000	668	668	668	730	570	570	18	131	311
BTA800/20/*/*	8000	714	714	714	775	620	620	18	145	390
BTA900/20/*/*	9000	730	730	730	820	660	660	20	144	440
BTA1000/20/*/*	10000	799	799	799	860	705	705	18	154	530
BTA1200/20/*/*	12000	825	825	825	900	760	760	18	164	620
BTA1400/20/*/*	14000	945	945	945	1010	815	815	18	175	831
BTA1600/20/*/*	16000	1010	1010	1010	1075	880	880	18	184	1002
BTA1800/20/*/*	18000	1071	1071	1071	1135	945	945	18	193	1182
BTA2000/20/*/*	20000	1129	1129	1129	1190	1000	1000	18	202	1372

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI STAGING ANALYSIS

6.1 Metode Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan jembatan Sembayat Baru II ini menggunakan metode *Full Cantilever*, dimana berat jembatan selama pelaksanaan ditopang oleh kabel yang dibantu oleh *pylon* (tower) sementara untuk menahan lendutan akibat berat sendiri. Pemasangan segmen jembatan dibantu oleh crane ponton dengan kapasitas angkat 30 ton.

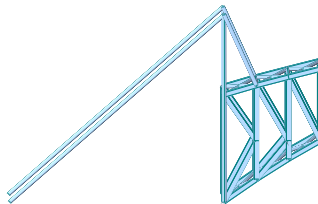
Proses pelaksanaan jembatan dimulai dari portal akhir sampai segmen penutup (*closure*) pada puncak busur, dan pemasangan batang penggantung hingga rantai jembatan.

a. Stage 1

Pembangunan dimulai dari pekerjaan *Substructure* (Pondasi, Kepala jembatan, dan Perletakan) lalu dilanjutkan pekerjaan pendirian portal akhir dan segmen busur pertama. Pekerjaan dilakukan bersamaan pada kedua sisi jembatan.

Pada tahap ini, pylon sementara sudah berdiri untuk memberikan kabel penahan pada segmen pertama.

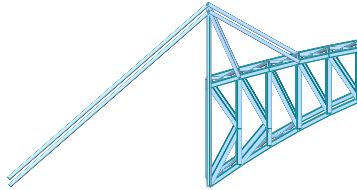
Kabel backstay diberi gaya *tension* sebesar 250 kN dan kabel penahan (1) diberi *tension* sebesar 350 kN.



Gambar 6.1 Stage 1

b. Stage 2

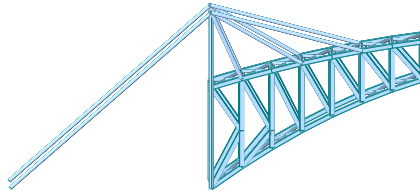
Dipasang segmen berikutnya dan pemasangan kabel penahan (2) yang diberi tension sebesar 600 kN. Kabel backstay diberi tension tambahan hingga 400 kN.



Gambar 6.2 Stage 2

c. Stage 3

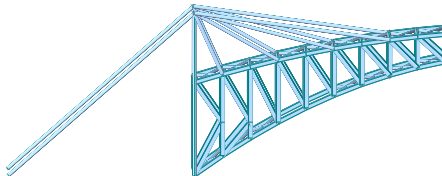
Dipasang segmen berikutnya dan pemasangan kabel penahan (3) yang diberi tension sebesar 500 kN. Kabel backstay diberi tension tambahan hingga 550 kN.



Gambar 6.3 Stage 3

d. Stage 4

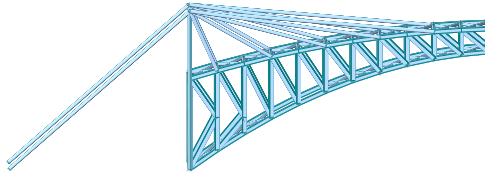
Dipasang segmen berikutnya dan pemasangan kabel penahan (4) yang diberi tension sebesar 500 kN. Kabel backstay diberi tambahan tension sebesar 750 kN.



Gambar 6.4 Stage 4

e. Stage 5

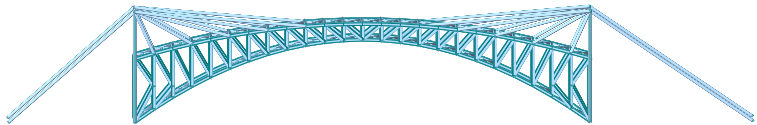
Dipasang segmen berikutnya dan pemasangan kabel penahan (5) yang diberi tension sebesar 500 kN. Kabel backstay diberi tension tambahan sebesar 900 kN.



Gambar 6.5 Stage 5

f. Stage 6

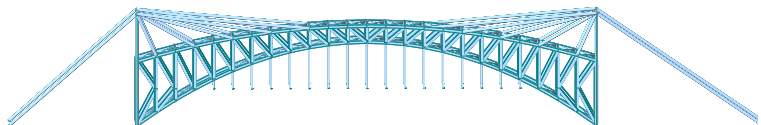
Dipasang segmen berikutnya ($1.\lambda = 6$ meter) yang merupakan segmen busur penutup. Pada tahap ini, busur sudah terbentuk namun masih belum stabil karena belum terdapat batang tarik yang menahan gaya horisontal yang dihasilkan dari geometri busur.



Gambar 6.6 Stage 6

g. Stage 7

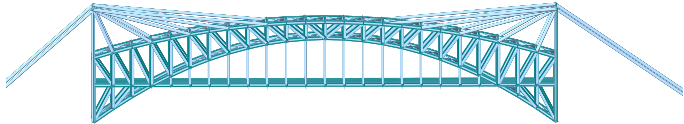
Pemasangan kabel penggantung (*Hanger*) pada semua titik buhul.



Gambar 6.7 Stage 7

h. Stage 8

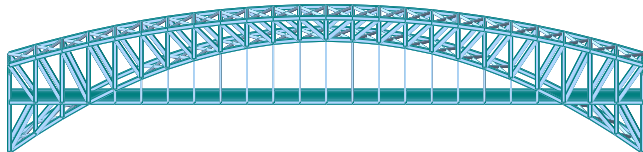
Pemasangan batang tarik (*Main Girder*) yang dilanjutkan pekerjaan gelagar melintang, gelagar memanjang, lantai kendaraan dan pekerjaan aksesoris jembatan.



Gambar 6.8 Stage 8

i. Stage 9

Menghilangkan gaya tarikan kabel dan pembongkaran tower sementara.



Gambar 6.9 Stage 9

6.2 Data Perencanaan Kabel

Perencanaan kabel penahan yaitu berdasarkan gaya tarik yang bekerja pada masing-masing kabel saat segmen dalam proses *erection*.

Kabel yang digunakan yaitu kabel ASTM A416-74 grade 270.

$$\varnothing_{\text{kabel}} = 15,2 \text{ mm} \quad A_s = 181,46 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 1.860 \text{ MPa} \quad f_{ijin} = 0,7 \cdot f_u = 1.302 \text{ MPa}$$

Perhitungan kabel penahan direncanakan sebagai berikut:

$$P = 891,83 \text{ kN (Kabel Backstay)}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{P}{f_{\text{ijin}}} = \frac{891,83 \text{ kN}}{1,302 \text{ kN/mm}^2} = 684,96 \text{ mm}^2$$

$$N \text{ kabel} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s} = \frac{684,96 \text{ mm}^2}{181,46 \text{ mm}^2} = 3,77 \approx 4 \text{ strand}$$

$$\begin{aligned} P_n &= f_{\text{ijin}} \times A_{s\text{aktual}} \\ &= 1,302 \text{ kN/mm}^2 \times (4 \times 181,46 \text{ mm}^2) \\ &= 945,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka:

$$P_u \leq P_n$$

$$891,83 \text{ kN} \leq 945,04 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Dengan perhitungan yang sama, didapat jumlah strand dan kekuatan nominal masing-masing kabel sebagai berikut:

Tabel 6.1 Tabel Perhitungan Kabel

Kabel	P_u (kN)	$A_{s\text{perlu}}$ (mm ²)	n kabel	$A_{s\text{aktual}}$ (mm ²)	P_n (kN)
1 backstay	891,83	684,96	4	725,84	945,04
1 main cable	341,68	262,42	2	362,92	472,52
2 main cable	574,71	441,40	3	544,38	708,78
3 main cable	478,96	367,86	3	544,38	708,78
4 main cable	448,6	344,54	3	544,38	708,78
5 main cable	475,21	364,98	3	544,38	708,78

6.3 Kontrol Segmen Kritis

Kontrol ini diperlukan untuk mengetahui penampang kritis saat proses *erection* berlangsung. Pada perencanaan ini, segmen kritis yaitu saat proses *erection* mencapai

tahap penutupan segmen puncak busur, dimana busur mengalami gaya tekan namun belum terdapat batang tarik (*tie beam*) untuk menahan gaya tarik dari busur.

Kombinasi yang digunakan yaitu kombinasi 2, dimana beban yang bekerja yaitu berat sendiri profil dan beban angin pada struktur.

Segmen yang ditinjau yaitu segmen tengah bentang dimana gaya yang bekerja sebagai berikut:

Tabel 6.2 Hasil Analisa Segmen Kritis

Elemen	Aksial (kN)	Shear y (kN)	Shear z (kN)	Torsi (kN.m)	Momen y (kN.m)	Momen z (kN.m)	Frame
Busur Atas	-19.308,71	10.87	33,26	296,97	929,33	2.201,68	176

Karena profil yang ditinjau sama dengan profil pada bab perencanaan yaitu Box 800x500x38x38, maka nilai nominal profil sama. Kontrol yang ditinjau kontrol interaksi gaya torsi, geser, lentur, dan aksial.

Kontrol Interaksi Gaya Torsi, Geser, Lentur dan Aksial

$$\text{Cek: } \frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{296,97}{5.876,7} = 0,05 < 0,2$$

Maka: Gaya torsi diabaikan

$$\text{Cek: } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{19.308,71}{33.304,44} = 0,57 > 0,2$$

Maka:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$\frac{19.308,71}{33.304,44} + \frac{8}{9} \left(\frac{929,33}{9.017,37} + \frac{2.201,68}{6.442,92} \right) < 1,0$$

$$0,96 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

BAB VII PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Dari hasil perencanaan modifikasi Jembatan Sembayat Baru II yang telah dilakukan, maka disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dimensi melintang jembatan yaitu terdiri dari 9 meter lantai kendaraan dan 2 x 1,5 meter sebagai trotoar. Jumlah lajur kendaraan yaitu 2 lajur 2 arah (2/2 UD).
2. Pelat lantai kendaraan yaitu terdiri dari pelat beton dengan tebal 20 cm dan tebal perkerasan aspal dengan tebal 5 cm. Mutu beton yang digunakan yaitu f'c 30 MPa. Tulangan arah melintang pada pelat beton yaitu D19-250 dan arah memanjang yaitu Ø12-250.
3. Profil yang digunakan pada struktur jembatan ini dijabarkan sebagai berikut:

Tabel 7.1 Profil Jembatan

Elemen	Profil	Mutu
Gelagar memanjang	WF 500x200x10x16	BJ55
Gelagar melintang	WF 800x300x14x22	BJ55
Main Girder	Box 800x600x45x45	BJ55
Busur Atas	Box 800x500x38x38	BJ55
Busur Bawah	Box 800x500x38x38	BJ55
Busur Diagonal	WF 500x500x16x25	BJ55
Busur Vertikal	WF 500x500x16x25	BJ55
Balok Portal Akhir	Ø10"	BJ55
Kolom Portal Akhir	Box 800x500x38x38	BJ50
Ikatan Angin Atas	Ø16"	BJ55
Ikatan Angin Bawah	Ø24"	BJ50
	Box 500x300x16x25	BJ55
Ikatan Silang	Ø14"	BJ55

4. Profil batang penggantung yaitu menggunakan *hanger* produksi dari Macalloy dengan tipe Macalloy 520 (M72) dengan diameter Ø72mm.
5. Desain perletakan menggunakan perletakan produksi dari Technoslide (Pty) Ltd. dengan jenis *Pot Bearing* dengan 3 jenis perletakan, yaitu:
 - a. Tipe fixed = BTF 1000/20
 - b. Tipe unilateral x = BTU 1000/20/*
Tipe unilateral y = BTU 1600/20/*
 - c. Tipe multilateral = BTA 1000/20/*/*
6. Profil yang diperhitungkan masih memenuhi syarat dari kontrol *accidental load* berupa 1 batang penggantung yang putus dan masih mencukupi untuk menahan beban layan.

7.2 Saran

Dalam perencanaan ini digunakan sistem rangka, namun bila dilihat dari analisa gaya dalam, masih memungkinkan digunakan sistem dinding penuh yang memiliki berat yang lebih ringan dibanding sistem rangka. Sehingga jembatan dapat lebih ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Wei-Fah. 2013. **Bridge Engineering Handbook Superstructure**. Florida: CRC Press.
- Effendy, Mochamad Lukman, 2014. **Desain Jembatan Brantas Ruas Tol Kertosono Dengan Sistem Busur Boks Baja**. Surabaya.
- Fu, Gongkang. 2013. **Bridge Design & Evaluation**. New Jersey: John Wiley and Sons Inc.
- RSNI T-02-2005, **Pembebanan Jembatan**.
- RSNI 2833-201X, **Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa**.
- Setiawan, Agus. 2008. **Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD**. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Shiau, Yan-Chyuan., Wang, Ming-Teh., Huang, Chih-Ming., Zeng, Jin-Yi., June 2008. "Discussion of Pot Bearing for Concrete Bridge". **International Symposium an Automation and Robotics in Construction 15**, 26-29:213-214.
- SNI 1725-2016, **Pembebanan Untuk Jembatan**
- SNI 1729-2015, **Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural**
- Soegihardjo, Hidayat. 2016. **Diktat Kuliah Bentang Panjang**. Teknik Sipil ITS.

Xiang, Zhongfu., Xu, Wei., Wang, Cunshu., and Dong, Ying.,
2010. “The Construction Technology of Chongqing
Chiaotianmen Bridge”. **International Conference on
Arch Bridge.**

LAMPIRAN

1. Brosur Hanger
2. Brosur Pot Bearing
3. Gambar hasil modifikasi

Macalloy



TENSION STRUCTURES.

TENSION RODS | COMPRESSION STRUTS | STAINLESS CABLES
CONNECTION SOLUTIONS | SITE SERVICE



Welcome

With innovation at the heart of our company ethos, Macalloy has been developing new systems and technologies in Tensile Structures since the early 1980's.

Macalloy is a proven market leader in the design, manufacture and supply of threaded bar systems. Macalloy has experience in liaising with world renowned specifiers and contractors for the development of some truly unique and pioneering structures.

Macalloy's Tension Structures range is approved with European Technical Approval – ETA 07/0215, providing the CE certification, alongside other globally recognised certifications.





Contents

Tension Rods	4
Adjustable Compression Struts	8
Macalloy Fixed End Compression Struts	9
Stainless Cables	10
Connection Solutions	12
Component Dimensions	13
Gusset Plates	14
Fork Alignment & Site Services	15

Tension Rods

Material Properties						
Product Name	Material	Min. Yield Stress N/mm ²	Min. Breaking Stress N/mm ²	Min. Elongation %	Min. Charpy Impact Value J@ -20°C	Young Modules kN/mm ²
Macalloy 460	Carbon Steel	460	610	19	27	205
Macalloy S460	Stainless Steel	460	610	15	27	205
Macalloy 520	Carbon Steel	520	690	19	27	205
Macalloy S520	Stainless Steel	520	690	15	27	205

Tendon Capacities for Carbon and Stainless Macalloy 460																	
Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	M105
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97	102
Min. Yield Load	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172	3520
Min. Break Load	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206	4667
Design Resistance to EC3 N _{R,d}	kN	24	35	66	103	149	238	348	479	630	870	1149	1677	2138	2418	3029	3360
Nominal Bar Weight	kg/m	0.5	0.75	1.4	2.2	3.0	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58	64.1

Tendon Capacities for Carbon and Stainless Macalloy 520																	
Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	M105
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97	102
Min. Yield Load	kN	28	41	78	122	176	284	412	567	746	1031	1361	1986	2563	2863	3586	3979
Min. Break Load	kN	38	55	103	162	234	374	546	752	990	1368	1806	2635	3401	3799	4758	5279
Design Resistance to EC3 N _{R,d}	kN	27	39	74	117	168	269	393	541	713	985	1300	1897	2449	2735	3426	3801
Nominal Bar Weight	kg/m	0.5	0.75	1.4	2.2	3	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58	64.1

M85 to M100 in stainless and M105 in both systems are not covered by ETA but are available by special request

Maximum Length of Individual Bars			
Diameter	Stainless Steel	Carbon	Galvanised
M10 - M16	6.0m	11.95m	6.0m
M20 - M30	6.0m	11.95m	8.0m
M36 - M105	6.0m	11.95m	11.95m

Longer lengths can be supplied as made to order if required.

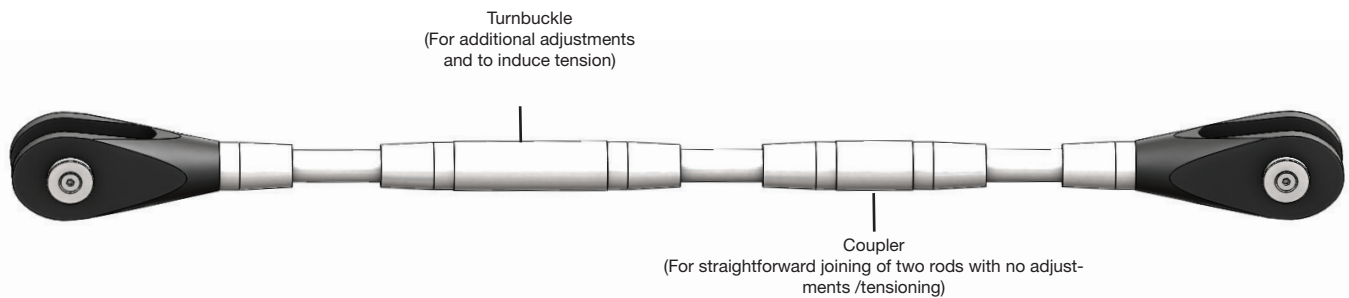
Corrosion Protection

Carbon steel tension bars can be supplied primed and ready for an appropriate paint covering or galvanised. Galvanising can be applied prior to, or after, bar threading as required. Please note that all standard carbon Macalloy fittings (forks, pins and Lock Covers) are provided with a hot dipped galvanised coating in accordance with BS EN 1461: 2009

Fatigue

Threads are rolled on to the bar and are therefore more resistant to fatigue. Testing a range of diameters has been carried out over 2 million cycles, the results of which are available from the macalloy technical department.

Final Assembly Example



Fork Adjustment and Set Up Points

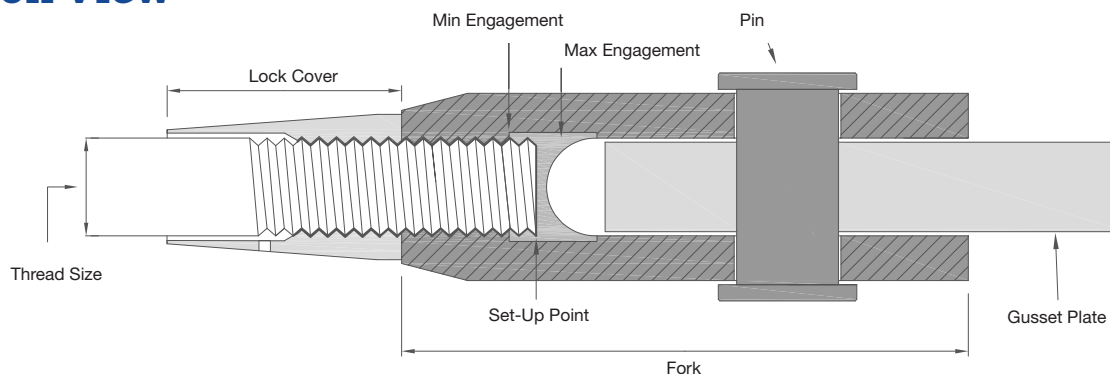
Fork Adjustment – M10 to M56: $\pm \frac{1}{2}$ thread diameter in each fork end.

Fork Adjustment – M64 to M100: ± 25 mm in each fork end.

Set-Up Point – M10 to M56: $1 \frac{1}{2} \times$ thread diameter in each fork end.

Set-Up Point – M64 to M100: 1 x thread diameter plus 25mm in each fork end.

Section View



Turnbuckle Adjustment and Set Up Points

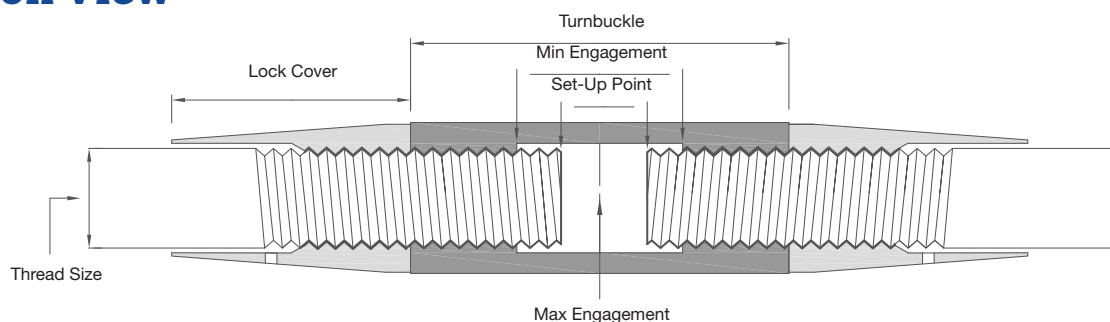
Turnbuckle Adjustment – M10 to M24: ± 25 mm.

Turnbuckle Adjustment – M30 to M100: ± 50 mm.

Set-Up Point – M10 to M24: 1 x thread diameter + 12.5mm in each end of the turnbuckle.

Set-Up Point – M30 to M100: 1 x thread diameter + 25mm in each end of the turnbuckle.

Section View



Tension Rods

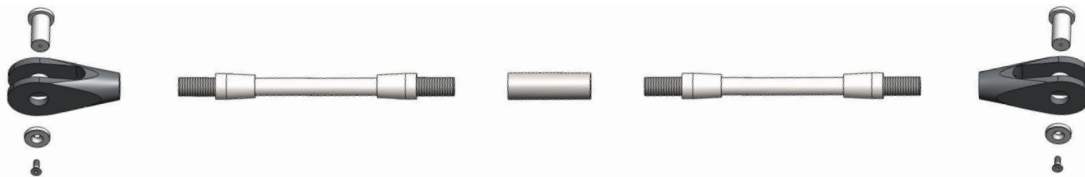
Assembly and Installation

For both pre-assembled and non-assembled tendons please follow the assembly and installation instructions to ensure correct set up points and thread engagement.

- 1 Note the thread direction of each bar end.



- 2 Screw tapered Lock Covers on to the bar as far as thread allows with taper pointing away from fork, coupler or turnbuckle.



- 3 Screw forks, turnbuckles and couplers on to bars noting set up points on page 5. Couplers should be fully engaged.

- 4 Position bar in place and secure with pins.



- 5 Where no turnbuckle is used, turn the bar to induce the load/adjustment required.

- 6 Where a turnbuckle is used turn the turnbuckle to induce the required load/adjustment

- 7 Screw Lock Covers back against forks/couplers and turnbuckles.



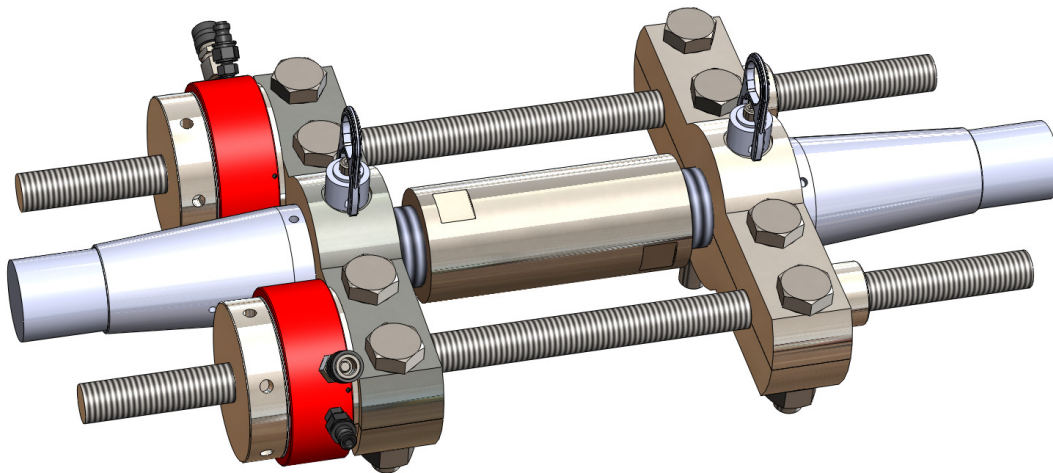
- 8 Seal as per fork and lock cover diagram on page 7.

- 9 Assembly and installation is complete.

- To ensure full strength of threaded joints a minimum of 1 x thread diameter should be engaged in fork/turnbuckle joints.
- Where large loads need to be induced in a tension bar the Macalloy TechnoTensioner can be used. See page 7 for more information.
- Spanner flats available on request on bars and turnbuckles, please specify at time of order.

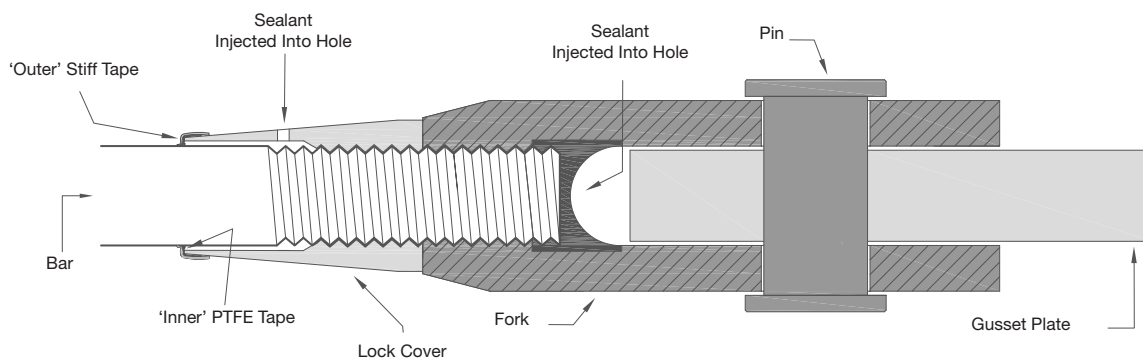
TechnoTensioner

The Macalloy TechnoTensioner is hydraulic acting equipment which allows you to induce an accurate load into Macalloy tendons where a turnbuckle is used. The Macalloy TechnoTensioner works by gripping the tension bars on either side of the turnbuckle and pulling the bars together into tension thus loosening the turnbuckle. The turnbuckle can then be tightened with a strap, chain or stilson wrench.



Fork and Lock Cover Sealing

Recommended for use with all finishes to protect against vibration and corrosion. All lock covers should be sealed whether used with a fork, coupler or turnbuckle.



Fork and Lock Cover sealing method statements are available on our website and on request. If no lock cover is used, an alternative sealing method should be introduced as described in the method statement.

Adjustable Compression Struts

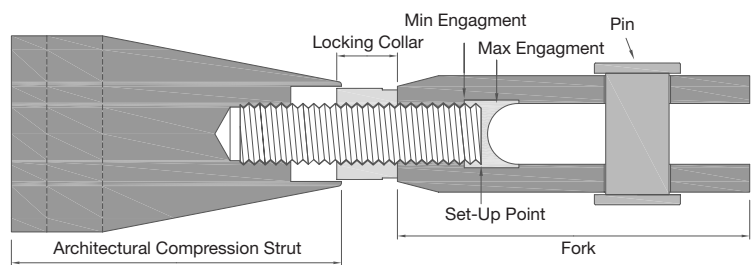
Capacity and Lengths of Architectural and Standard Compression Struts															
System Ref		M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Maximum Compressive Capacity to EN1993	kN	14.0	28.1	44.7	69.3	121.6	189.6	274.0	369.7	530.0	728.7	1063.9	1395.3	1588.6	2031.3
Maximum Pin to Pin Length on EN1993 Standard*	mm	2369	2663	2671	3105	3357	3367	4498	6397	7097	7420	8188	9323	10291	11679
Carbon CHS OD	mm	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273	323.9
Carbon CHS Wall Thickness	mm	4	5	5	5	5	5	6.3	10	10	10	12.5	16	16	16
Stainless CHS OD	mm	33.40	42.16	48.30	60.33	73.03	Contact Macalloy for details								
Stainless CHS Wall Thickness	mm	4.50	4.85	5.08	5.08	5.16									

*Maximum lengths are based on carbon steel strut taking the maximum compressive capacity. For lower compressive loads longer lengths can be used. Alternative wall thicknesses are available. Contact Macalloy for details regarding maximum length of stainless steel struts.

Compression Strut Examples



Fork Adjustment and Set Up



Adjustment with each fork:
M12 to M56: +/- ½ thread diameter
M64 to M100: +/- 25mm
Set-Up Point in each fork
M12 to M56: 1 ½ x thread diameter
M64 to M100: 1 x thread diameter + 25mm

Corrosion Protection

Compression Struts can be supplied galvanised, or in stainless steel.

Assembly and Installation

- 1 Remove pins using an allen key, position the strut in place and secure with pins, tightening using an allen key.
- 2 Screw the locking collar in to the strut so only a small part of the locking collar is left visible, then turn the strut to the required position.
- 3 Screw the locking collar back against the fork. All the thread should be covered. The forks should be sealed as per the diagram on page 7.

Capacity of Macalloy Fixed End Compression Struts																
Macalloy Product Ref		Units	CSF 33.7	CSF 42.4	CSF 48.3	CSF 60.3	CSF 76.1	CSF 88.9	CSF 114.3	CSF 139.7	CSF 168.3	CSF 193.7	CSF 219.1	CSF 244.5	CSF 273.0	CSF 323.9
Equivalent Macalloy Fork Size			M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
CHS Size to fit	Outer Diameter	mm	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273	323.9
	Wall Thickness	mm	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.3	10.0	10.0	10.0	12.5	16.0	16.0	16.0
Compressive Capacity to EN 1993		kn	52	99	122	174	272	374	534	735	1048	1437	2127	2723	3110	3686
Gusset Plate Thickness		mm	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85
Weight		kg	0.25	0.51	1.0	1.4	2.4	3.7	6.2	10.8	15.8	20.5	40.3	59.3	74.0	100.0

Macalloy CHS Fork End



Corrosion Protection

Can be galvanised and or painted and supplied in stainless steel to special order.

Assembly and Installation

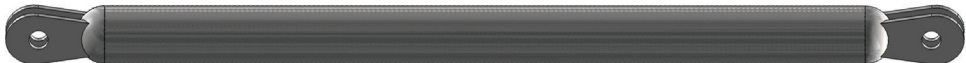
- 1 Insert Macalloy CHS Fork End into CHS / tube, ensuring it is fully inserted and that the forks are parallel to each other.



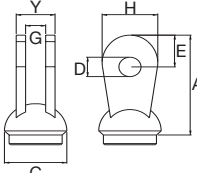
- 2 Weld directly to CHS with full penetration butt weld and clean weld as required (ensuring forks are parallel to each other)



- 3 Position complete strut in place and secure using pins.






Architectural pins can be supplied by Macalloy. Please refer to table number 12 on page 13 for further information.

Macalloy CHS Fork End Dimensions																
System Ref	Product Ref.	Units	CSF 33.7	CSF 42.4	CSF 48.3	CSF 60.3	CSF 76.1	CSF 88.9	CSF 114.3	CSF 139.7	CSF 168.3	CSF 193.7	CSF 219.1	CSF 244.5	CSF 273.0	CSF 323.9
Fixed End Compression Strut Fork 	A	mm	75	95	109	130	161	185	218	255	303	340	398	462	495	574
	G (min.)	mm	13	16	20	25	30	35	40	45	49.5	59.5	76	76	86	91
	C Dia.	mm	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273	323.9
	D Dia	mm	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
	E	mm	22	29	34	42	52	61	70	81	97	111	132	153	162	189
	Y	mm	22	28	37	44	53	64	75	87	97.5	115.5	146	153	169	174
	H	mm	34	45	53	64	81	93	109	123	147	169	201	236	248	289

Stainless Cables SC460

Minimum Break Loads for Stainless Cables												
Cable Dia.	mm	4	6	8	10	12	14	16	19	22	26	28
Macalloy Fork Size		M10	M10	M12	M16	M20	M24	M24	M30	M30	M36	M36
7 x 19 Strand	kN	8.9	20.0	35.6	55.6	80.0	109.0	143.1	-	-	-	-
1x 19 Strand	kN	12.6	28.2	45.5	71.1	102.0	139.0	182.0*	212.0*	285.0*	398.0*	-
Compact Strand	kN	17.4	34.8	60.3	95.0	141.2	189.2	251.0	-	-	-	510

7 x 19 Strand		Most Flexible	Lowest Break Load	Highest Stretch Characteristics
1 x 19 Strand		Rigid Cable	High Break Load	Low Stretch Characteristics
Compact Strand		Most Rigid	Highest Break Load	Lowest Stretch Characteristics

Stainless steel cable will begin to distort at around 50% of its breaking load. For this reason it is recommended to apply a factor of safety of 2 and not to load the cables to more than 50% of their breaking loads. *1 x 37 or 1 x 61 may also be offered.

Cable Systems - Swaged Adjustable Fork



Cable Systems - Swaged Fork / Tensioner Assembly and Installation

- 1 Remove pins using supplied allen key and screw Lock Covers away from tensioners as far as the thread will allow.



- 2 Position cable in place and secure with pins, tightening with supplied allen key. For Swaged fork tensioning use open ended spanner on each adjuster and simultaneously turn each one to induce load / adjustment.



- 3 Swaged Tensioner and Inline Tensioner Adjustment – Turn tensioner using open ended spanner until correct level of adjustment tension is achieved. Then screw Lock Covers back against the tensioners.



Where large loads need to be induced in a cable, a version of the Macalloy TechnoTensioner can be used. Refer to page 7 for further information.

Cable Stretch

Cables undergo an initial, permanent stretch (construction stretch). This can be between 0.10% and 0.75% dependant on the loading and type of cable. Further elastic stretch will then be proportional to the load applied and cable used. Elastic stretch can be calculated using the following formula:

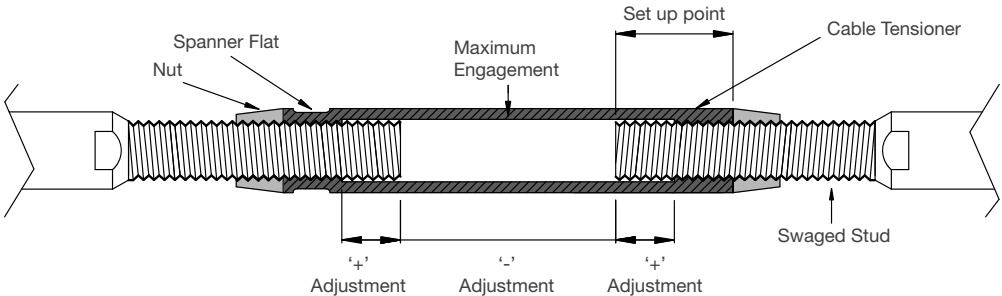
$$d = \frac{\text{Load (kN)} \times \text{Length (mm)}}{E \text{ (kN/mm}^2\text{)} \times \text{Cross Section Area (mm}^2\text{)}}$$

Cable Type	kN/mm ²
7 x 19 Strand	85
1 x 19 Strand	107
Compact Strand	133

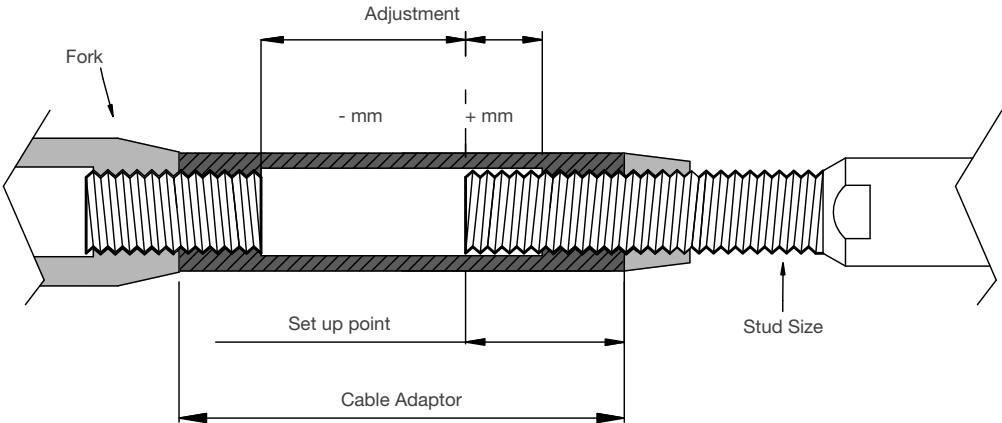
All cables are supplied non pre-stretched, if pre-stretched cables are required please request at time of the enquiry or order.

Fork Adjustments

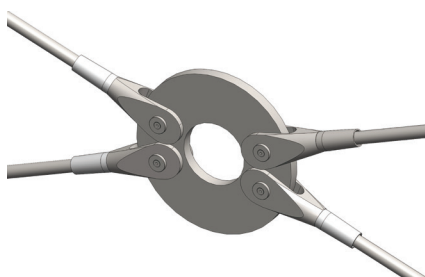
Fork-Cable Adaptor Adjustment												
Cable Dia.	Units	4	6	8	10	12	14	16	19	22	26	28
Fork Adjustment '+'	mm	9	14	17	22	25	31	31	38	38	45	45
Fork Adjustment '-'	mm	19	28	33	44	49	61	61	76	76	91	91
Set-up Point	mm	15	24	29	38	45	55	55	68	68	81	81



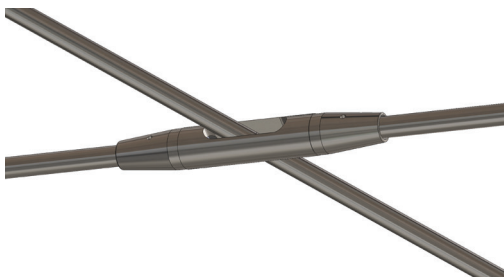
Swaged Tensioner and Inline Tensioner Adjustment												
Cable Dia.	Units	4	6	8	10	12	14	16	19	22	26	28
Tensioner Adjustment '+'	mm	23	23	27	35	39	61	61	81	81	77	77
Tensioner Adjustment '-'	mm	47	47	53	69	79	121	121	161	161	153	153
Set-Up Point	mm	22	22	26	34	40	55	55	71	71	75	75



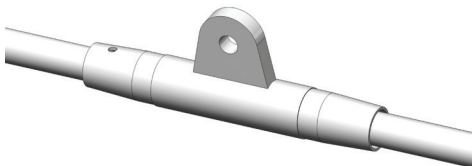
Connection Solutions



Disc Connection



Cross Coupler



Turnbuckle with Fin Plate

Disc Connection										
Connection Disc	D/10	D/12	D/16	D/20	D/24	D/30	D/36	D/42	D/48	D/56
System Size	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
ØD	130	164	218	248	294.8	386	444	502	572	694
ØI	96	120	160	180	210	280	320	360	410	500
T	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45
ØP	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5
ØH (optional)	50	70	90	105	115	160	185	205	235	290

Cross Coupler											
Cross-Coupler	CC10	CC12	CC16	CC28	CC24	CC30	CC36	CC42	CC48	CC56	CC64
System Size	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
A	73	82	105	128	148	183	21	249	283	328	376
B	47	52	67	82	94	117	139	159	181	210	242
C	12	14	18	22	26	32	38	44	50	58	66
ØD	19	25	29	35	43	52	62	72	82	96	110
Lock Cover	LCC10	LCC12	LCC16	LCC20	LCC24	LCC30	LCC36	LCC42	LCC48	LCC56	LCC64
System Size	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
E	29	31	37	43	74	105	111	117	123	136	144
ØF	18.5	24	28	34	42	51	61	71	81	95	109

Turnbuckle with Fin Plate										
Connection Disc	D/10	D/12	D/16	D/20	D/24	D/30	D/36	D/42	D/48	D/56
System Size	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
ØD	130	164	218	248	294.8	386	444	502	572	694
ØI	96	120	160	180	210	280	320	360	410	500
T	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45
ØP	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5
ØH (optional)	50	70	90	105	115	160	185	205	235	290

Bespoke connection

Bespoke connection pieces including personalisation are also available. Please contact Macalloy for further details.

Component Dimensions

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	
Fork Ref.		FA/10	FA/12	FA/16	FA/20	FA/24	FA/30	FA/36	FA/42	FA/48	FA/56	FA/64	FA/76	FA/85	FA/90	FA/100	
A	mm	63.0	75.0	99.0	122.0	148.0	178.0	204.0	232.0	266.0	314.0	348.0	410.0	459.0	489.0	555.0	
G	mm	11.0	12.0	15.0	19.0	24.0	26.0	34.0	39.0	44.0	49.0	56.0	76.0	78.0	86.0	91.0	
C	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	44.0	52.0	60.0	69.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0	
D	mm	11.5	13.0	17.0	21.4	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5	
E	mm	18.0	22.0	29.0	34.0	42.0	53.0	61.0	70.0	81.0	97.0	111.0	132.0	153.0	162.0	188.0	
Y	mm	20.0	22.0	28.0	37.0	44.0	50.0	64.0	75.0	87.0	97.0	115.0	146.0	154.0	169.0	174.0	
H	mm	30.0	34.0	45.0	53.0	64.0	81.0	93.0	109.0	123.0	147.0	169.0	201.0	236.0	248.0	289.0	
Spade ref.		SA/10	SA/12	SA/16	SA/20	SA/24	SA/30	SA/36	SA/42	SA/48	SA/56	SA/64	SA/76	SA/85	SA/90	SA/100	
B	mm	78.0	92.0	118.0	147.0	174.0	213.0	249.0	284.0	321.0	364.0	408.0	471.0	524.0	555.0	625.0	
T	mm	8.0	9.0	12.0	15.0	20.0	22.0	30.0	35.0	40.0	45.0	55.0	70.0	72.0	80.0	85.0	
Architectural Pin Ref.		PA/10	PA/12	PA/16	PA/20	PA/24	PA/30	PA/36	PA/42	PA/48	PA/56	PA/64	PA/76	PA/85	PA/90	PA/100	
P Dia.	mm	10.5	12.0	16.0	20.0	24.0	29.0	35.0	41.0	47.0	55.0	63.0	76.0	90.0	93.0	108.0	
L	mm	22.0	24.0	30.0	39.0	46.0	52.0	66.0	78.0	91.0	100.0	120.0	151.0	155.0	175.0	180.0	
Turnbuckle Ref.		TA/10	TA/12	TA/16	TA/20	TA/24	TA/30	TA/36	TA/42	TA/48	TA/56	TA/64	TA/76	TA/85	TA/90	TA/100	
ØD	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	43.0	52.0	60.0	58.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0	
C	mm	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
L	mm	74.0	78.0	86.0	90.0	98.0	160.0	172.0	184.0	196.0	212.0	228.0	252.0	270.0	280.0	300.0	
Coupler Ref.		CA/10	CA/12	CA/16	CA/20	CA/24	CA/30	CA/36	CA/42	CA/48	CA/56	CA/64	CA/76	CA/85	CA/90	CA/100	
ØD	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	43.0	52.0	60.0	68.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0	
L	mm	25.0	29.0	37.0	45.0	53.0	65.0	77.0	89.0	101.0	117.0	133.0	157.0	175.0	185.0	205.0	
Lock Covers		LTC/10	LTC/12	LTC/16	LTC/20	LTC/24	LTC/30	LTC/36	LTC/42	LTC/48	LTC/56	LTC/64	LTC/76	LTC/85	LTC/90	LTC/100	
X Dia.	mm	16.5	18.5	24.0	28.0	34.0	42.0	51.0	59.0	67.0	79.0	90.0	107.0	120.0	128.0	142.0	
N	mm	44.0	44.0	46.0	48.0	92.0	126.0	134.0	145.0	153.0	169.0	179.0	191.0	200.0	205.0	215.0	



Parliament Library

New Delhi, India

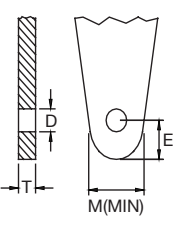
Architect: Raj Rewal Associates

Client: Parliament of India

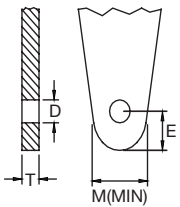
Fork Alignment & Site Services

Gusset plates should be manufactured from material with a minimum strength of S355 to BS EN 10025 with the critical dimensions around the pin hole as per the tables below, noting the use of isolation when carbon gusset plates are used with stainless tendons.

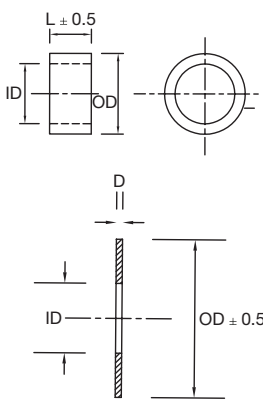
Macalloy Standard Gusset Plate Dimensions																
		M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
T (Thickness)	mm	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85
D	mm	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18	22	30	37	43	56	64	74	84	101	112	132	160	166	194
H (min.)	mm	28	34	48	60	68	90	103	118	135	163	180	211	259	266	317



Macalloy Gusset Plate Dimensions when used with isolation													
		M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76
T (Thickness)	mm	8	9	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70
D	mm	15.5	17.0	21.0	25.5	30.0	36.0	42.0	48.0	55.5	63.5	72.5	85.5
E	mm	21	24	31	37	45	56	64	74	85	100	115	136
H (min.)	mm	34	38	49	58	69	89	108	117	136	160	179	210



The above dimensions should be used when connecting stainless forks to a carbon steel connection plate. This then allows space for isolation sleeves and washers. If connecting to a stainless connection plate where no isolation is required, please use dimensions in table 13.

Isolation Dimensions for Macalloy S460														
		M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	
Isolation Sleeve		IS10	IS12	IS16	IS20	IS24	IS30	IS36	IS42	IS48	IS56	IS64	IS71	
Length	mm	9	10	13	16	21	23	31	36	41	46	55	71	
ID	mm	11.5	13.0	17.0	21.0	25.0	31.0	37.0	43.0	39.0	57.0	64.5	77.5	
OD	mm	14.5	16.0	20.0	24.5	29.0	35.0	41.0	47.0	54.0	62.0	71.0	84.0	
Isolation Washer	mm	IW10	IW12	IW16	IW20	IW24	IW30	IW36	IW42	IW48	IW56	IW64	IW76	
D	mm	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
OD	mm	26	30	41	46	57	74	83	98	110	135	155	190	



Whitelee Wind Farm,
Eaglesham Moor, UK
Architect: Hypostyle
Contractor: Morrison Construction

Fork / Gusset Plate Misalignment



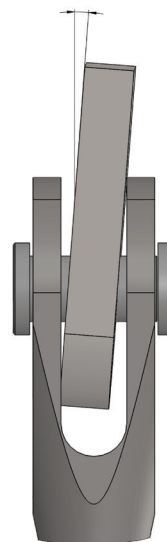
Forks should be kept in plane and parallel to each other on all Macalloy Tension Structure Systems.



Use of horizontal gusset plates should be avoided to prevent loads in gusset plates due to bar weight.

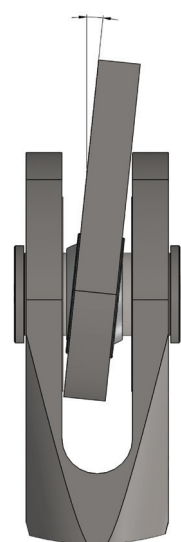
The standard Macalloy fork allows for misalignment between gusset plates of up to 0.5° . Where greater adjustment is required or there is potential movement exceeding 0.5° , larger forks can be put on the bar or strut and a spherical bearing can be inserted providing up to 5.9° of misalignment / movement.

Max = 0.5°



Standard Arrangement

Max = 5.9°



Additional misalignment with spherical bearing

Macalloy Site Services

Site support – Macalloy site services personnel can provide on site support in the form of undertaking stressing, training local personnel and providing supervision.

Equipment Hire – Macalloy Site services can provide a range of equipment to assist with the installation of tension bars including hydraulic jacks, Macalloy TechnoTensioner, strap and chain wrenches and strain gauges.

Bespoke Systems

Macalloy can supply a range of special items, including but not limited to:

- Higher strength tension bar – up to 690 N/mm^2 minimum yield strength
- Larger diameter tension bars
- Bespoke cast and fabricated connection pieces
- Spade Connections
- Oversized forks or spades on smaller diameter bars, cables or struts

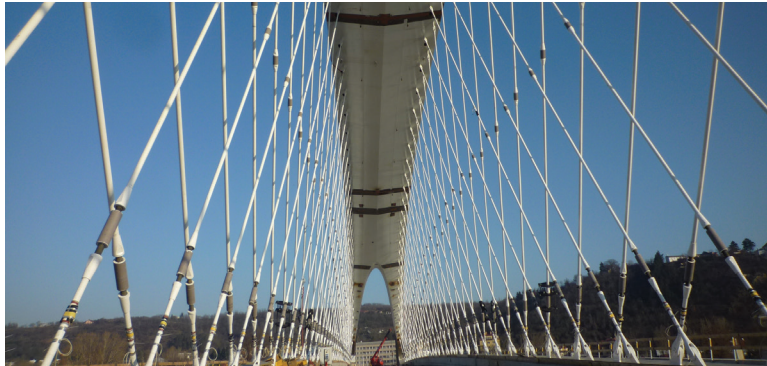
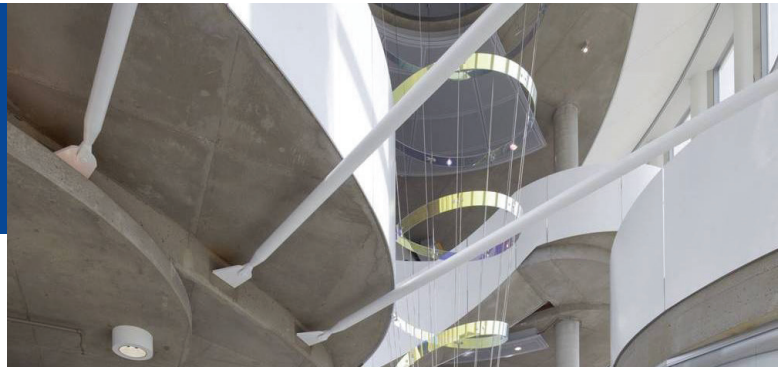
Engineering Support

Macalloy engineering team can provide support and advice on a range of issues including fire protection, thermal expansion, installation/stressing and managing misalignment and movement.

University of Minnesota

USA

Architects: HGA, KPF



Troja Bridge

Czech Republic

Steel Work Designer - Excon Steel

Main Contractor - Metrostav

Dubai Airport

UAE

Engineer: Dar Al-Handasah

Client: Josef Gartner



Mbombela Stadium

Nelspruit South Africa

Client - Mbombela Local Municipality

Structural Engineer - Mott MacDonald

Macalloy

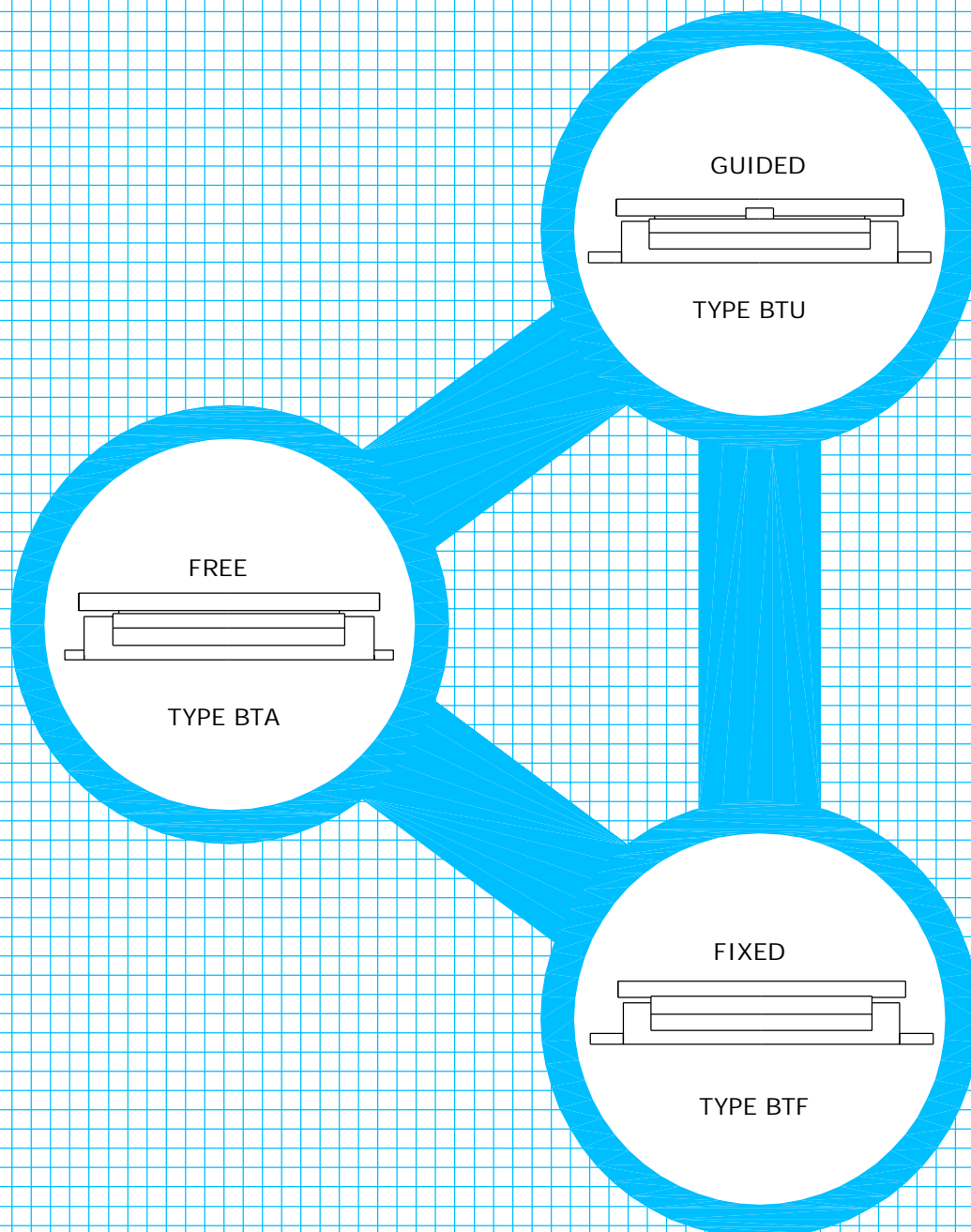
Macalloy, Caxton Way, Dinnington, Sheffield, S25 3QE, U.K.

T: +44 (0)1909 519200 | W: www.macalloy.com | E: sales@macalloy.com



BEARING TECHNOLOGIES

POT BEARINGS FOR BRIDGES AND STRUCTURES



Dec 2012

POT BEARINGS

In most concrete and steel structures accommodation must be made for relative movement between structural members in order to avoid the build-up of dangerous stresses. The source of this movement may be:

- ❑ Thermal expansion and contraction
- ❑ Permanent creep and shrinkage
- ❑ Post tensioning strain
- ❑ Live load deflections
- ❑ Earth movement

It is usually desirable to minimise the resistance forces and moments resulting from these movements and this is the primary function of Structural Bearings.

BEARING TECHNOLOGIES range of Pot Bearings provide this function by the most efficient method using well proven concepts combined with modern manufacturing technology and advanced materials.

This is achieved by exploiting the unique low-friction properties of PTFE (polytetrafluoroethylene) and the semi-hydraulic behaviour of restrained elastomers.

PTFE

PTFE is a well known polymer which possesses some remarkable properties. The coefficient of friction when sliding against a polished surface can be as low as 0.01 which compares with ice sliding on ice. In addition, its coefficient of friction is the lowest at highest specific pressures which make it particularly suitable for use in structural bearings.

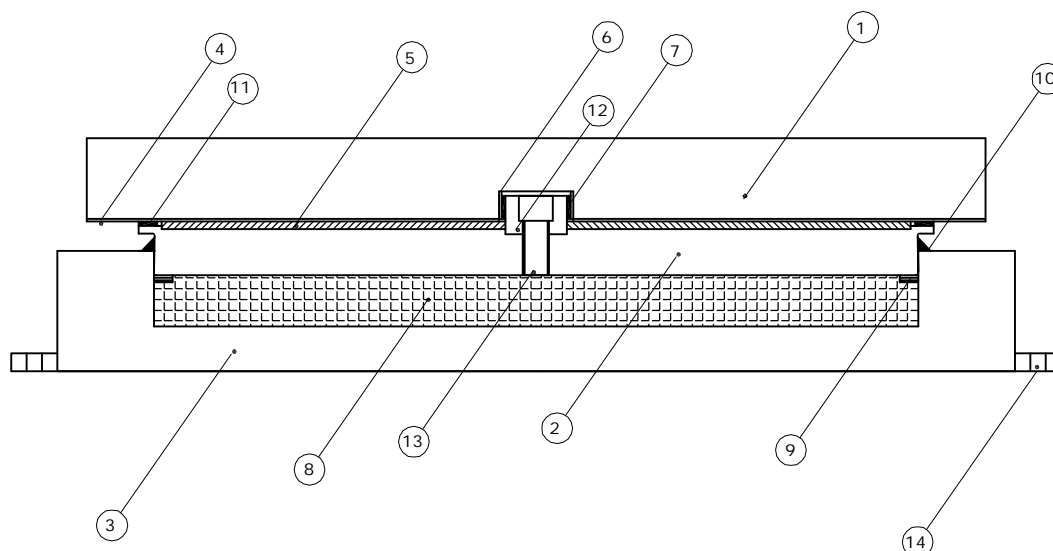
CSB10 (DU)

CSB10 is a proprietary composite material comprising a PTFE mixture impregnated into a metallic structure. It is capable of withstanding extreme pressures whilst possessing similar friction properties to those of pure PTFE. It is used in *BEARING TECHNOLOGIES* Pot Bearings for highly stressed components.

ELASTOMERS

In order to minimise space requirements, Pot Bearings are designed for relatively high contact pressures against the structure. This also ensures lowest friction values. Most elastomers cannot sustain such pressures in their free state and must be effectively contained to prevent overstraining. When constrained in this way, the elastomer behaves as a semi-viscous fluid and can safely accommodate useful degrees of angular displacement. All *BEARING TECHNOLOGIES* Pot Bearings can safely accommodate 0.01 radians rotation about any axis.

CONSTRUCTION Typical type BTU guided Pot Bearing



item	description	item	description
1	top plate	8	rubber disc
2	piston	9	piston sealing rings
3	pot	10	pot sealant
4	sliding plate	11	dust seal
5	PTFE	12	guide key
6	guide bar bearing strip	13	guide key screws
7	stainless guide strip	14	levelling bracket

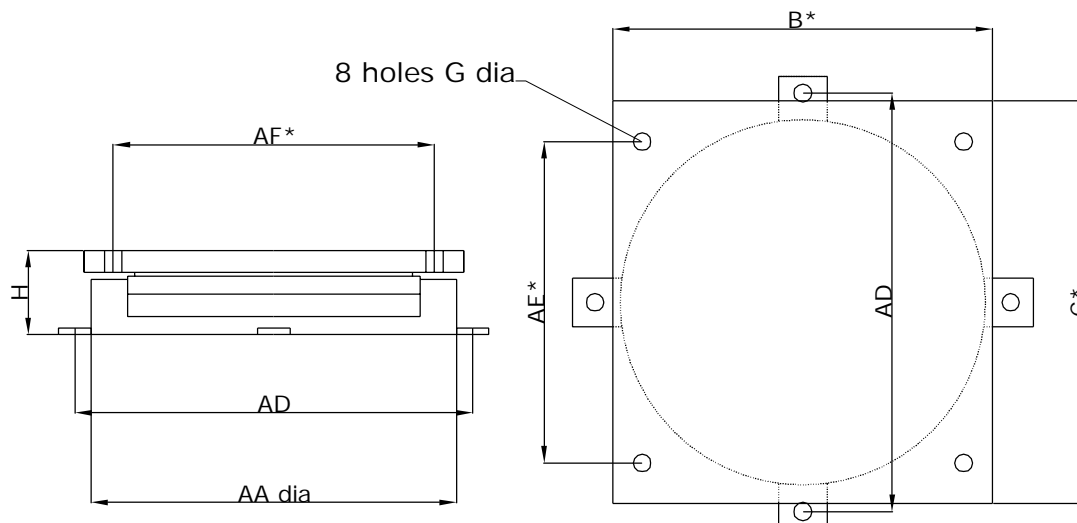
DESIGN AND MANUFACTURE

BEARING TECHNOLOGIES Pot Bearings are designed in accordance with BS 5400 Pt 9: 1983. Material specifications are selected to ensure reliability, longevity and continuity of supply.

Manufacturing is processed in modern well equipped workshops specialising in precision engineering and operating to quality assurance systems in terms of SABS ISO 9002.

A heavy duty corrosion protection system is applied to all exposed surfaces not embedded in concrete. This comprises zinc-rich epoxy primer with subsequent coats of Micaceous Iron Oxide epoxy (MIO) paint. Experience has shown that this system is more consistently reliable in protecting exposed areas than other specifications although alternative systems can be used if specified by customers.

POT BEARINGS-FREE Type BTA

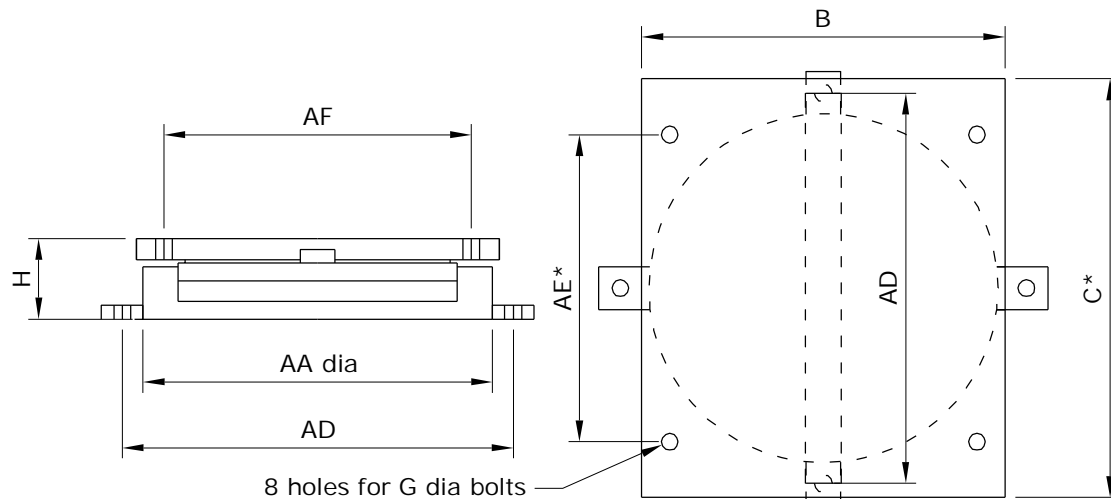


Bearing Reference No.	Max.vert. load kN	Base dia. AA mm	PI width B mm	PI length C mm	Hole ctrs AD mm	Hole ctrs AE* mm	Hole ctrs AF* mm	Hole dia G mm	Height H mm	Net mass kg
BTA50/20/*/*	500	197	207	207	250	170	170	14	49	10
BTA75/20/*/*	750	234	236	236	290	200	200	14	50	13
BTA100/20/*/*	1000	265	265	265	320	230	230	14	57	20
BTA125/20/*/*	1250	293	293	293	345	245	245	14	64	27
BTA150/20/*/*	1500	317	317	317	370	270	270	14	70	36
BTA175/20/*/*	1750	342	342	342	395	295	295	14	73	44
BTA200/20/*/*	2000	366	366	366	420	320	320	14	78	53
BTA250/20/*/*	2500	409	409	409	470	345	345	18	84	72
BTA300/20/*/*	3000	450	450	450	510	385	385	18	89	92
BTA350/20/*/*	3500	472	472	472	535	410	410	18	100	117
BTA400/20/*/*	4000	505	505	505	565	440	440	18	104	141
BTA450/20/*/*	4500	536	536	536	595	470	470	18	111	170
BTA500/20/*/*	5000	565	565	565	625	470	470	18	116	194
BTA550/20/*/*	5500	592	592	592	655	495	495	18	120	223
BTA600/20/*/*	6000	619	619	619	680	525	525	18	124	252
BTA700/20/*/*	7000	668	668	668	730	570	570	18	131	311
BTA800/20/*/*	8000	714	714	714	775	620	620	18	145	390
BTA900/20/*/*	9000	758	758	758	820	660	660	18	144	440
BTA1000/20/*/*	10000	799	799	799	860	705	705	18	154	530
BTA1200/20/*/*	12000	875	875	875	940	780	780	18	164	670
BTA1400/20/*/*	14000	945	945	945	1010	815	815	18	175	831
BTA1600/20/*/*	16000	1010	1010	1010	1075	880	880	18	184	1002
BTA1800/20/*/*	18000	1071	1071	1071	1135	945	945	18	193	1182
BTA2000/20/*/*	20000	1129	1129	1129	1190	1000	1000	18	202	1372

The average bearing pressure on the concrete is 20Mpa.

All dimensions are for bearings with +/-10mm movement in both directions. For larger movements dimensions B,C,AE,AF are increased accordingly. The suffix //* in the Reference No. indicates required +/- movement in Longitudinal and transverse directions respectively.

POT BEARINGS- UNIDIRECTIONAL Type BTU



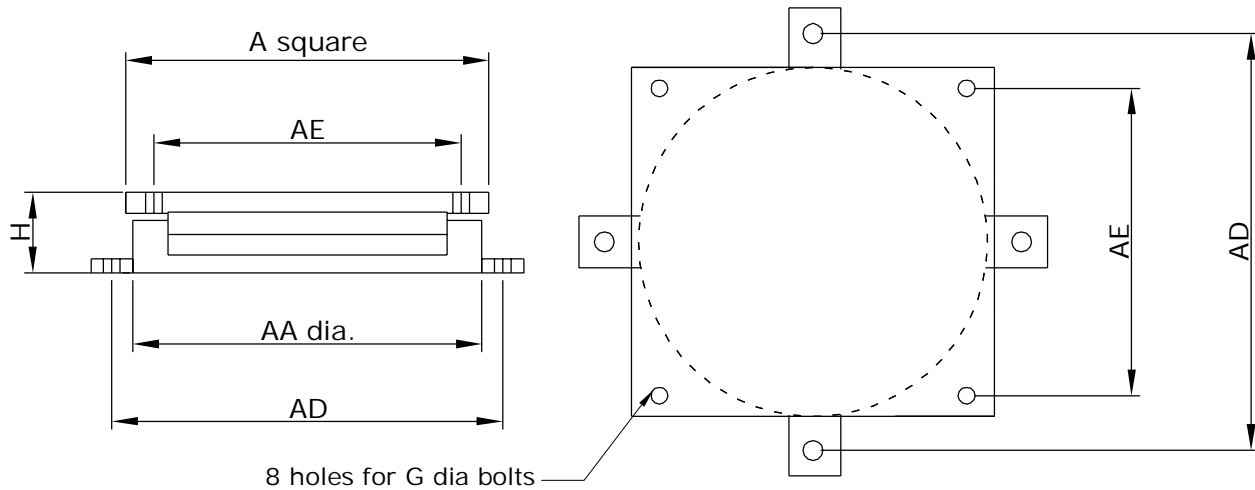
Bearing Reference No.	Max.vert. Load kN	Max.horiz load kN	Base dia. AA mm	PI width B mm	PI length C* mm	Hole ctrs AD mm	Hole ctrs AE* mm	Hole ctrs AF mm	Hole dia G mm	Height H mm	Mass kg
BTU50/20/*	500	100	209	209	242	265	205	175	14	71	20
BTU75/20/*	750	100	242	242	271	295	235	205	14	74	27
BTU100/20/*	1000	100	273	273	296	325	260	235	14	75	34
BTU125/20/*	1250	125	302	302	318	365	255	240	18	78	41
BTU150/20/*	1500	150	329	329	336	390	265	265	18	84	53
BTU175/20/*	1750	175	354	354	357	415	290	290	18	88	62
BTU200/20/*	2000	200	377	377	377	440	315	315	18	90	71
BTU250/20/*	2500	250	419	419	419	490	340	340	22	101	99
BTU300/20/*	3000	270	457	457	457	530	375	375	22	105	120
BTU350/20/*	3500	298	492	492	492	565	410	410	22	116	157
BTU400/20/*	4000	320	525	525	525	605	430	430	27	120	183
BTU450/20/*	4500	338	556	556	556	635	460	460	27	125	214
BTU500/20/*	5000	375	585	585	585	665	440	440	27	127	237
BTU550/20/*	5500	385	612	612	612	690	470	470	27	132	270
BTU600/20/*	6000	420	639	639	639	720	495	495	27	136	304
BTU700/20/*	7000	455	688	688	688	780	510	510	33	140	357
BTU800/20/*	8000	520	734	734	734	825	555	555	33	149	435
BTU900/20/*	9000	585	778	778	778	870	600	600	33	155	498
BTU1000/20/*	10000	650	819	819	819	910	640	640	33	165	591
BTU1200/20/*	12000	720	895	895	895	985	715	715	33	174	739
BTU1400/20/*	14000	840	965	965	965	1070	750	750	39	187	920
BTU1600/20/*	16000	880	1030	1030	1030	1135	815	815	39	193	1075
BTU1800/20/*	18000	900	1091	1091	1091	1195	875	875	39	200	1248
BTU2000/20/*	20000	1000	1149	1149	1149	1255	935	935	39	209	1440

The average bearing pressure on the concrete is 20Mpa.

All dimensions are for bearings with +/-10mm movement . For larger movements dimensions C & AE are increased accordingly. The suffix //* in the Reference No. indicates required +/- movement in longitudinal direction.

+ The maximum horizontal load can only be applied if it is less than 33 % of the simultaneous vertical load. Beyond this limit and for higher horizontal loads special designs are available.

POT BEARINGS-FIXED Type BTF



Bearing Reference No.	Max.Vert. Load kN	Max.Tran. Load kN	Base dia. AA mm	T/P sq B mm	Hole ctrs AD mm	Hole ctrs AE mm	Hole dia G mm	Height H mm	Mass kg
BTF50/20	500	100	209	179	265	145	14	49	12
BTF75/20	750	150	248	219	310	170	18	51	18
BTF100/20	1000	190	281	253	345	205	18	56	25
BTF125/20	1250	230	309	282	370	220	18	64	34
BTF150/20	1500	270	333	309	400	230	22	70	44
BTF175/20	1750	310	358	334	425	255	22	73	53
BTF200/20	2000	350	384	357	455	275	22	79	65
BTF250/20	2500	390	425	399	500	305	26	84	85
BTF300/20	3000	440	466	437	540	340	26	88	106
BTF350/20	3500	480	492	472	570	375	26	102	141
BTF400/20	4000	520	525	505	605	410	27	107	168
BTF450/20	4500	560	556	536	645	415	33	113	200
BTF500/20	5000	600	585	565	675	385	33	116	225
BTF550/20	5500	700	612	592	700	410	33	120	255
BTF600/20	6000	800	639	619	730	440	33	124	288
BTF700/20	7000	900	688	668	790	450	39	131	352
BTF800/20	8000	980	734	714	835	500	39	143	440
BTF900/20	9000	1060	778	758	885	540	39	147	503
BTF1000/20	10000	1140	819	799	925	585	39	156	597
BTF1200/20	12000	1220	895	875	1000	660	39	163	735
BTF1400/20	14000	1300	965	945	1080	695	45	176	915
BTF1600/20	16000	1400	1030	1010	1145	760	45	185	1097
BTF1800/20	18000	1500	1091	1071	1210	820	45	194	1288
BTF2000/20	20000	1600	1149	1129	1265	875	45	203	1489

The average bearing pressure on the concrete is 20 MPa.

The maximum horizontal load can only be applied if it is less than 33% of the simultaneous vertical load.

CONCRETE PRESSURES

BEARING TECHNOLOGIES Pot Bearings are designed for average structure interface pressures approaching 20Mpa. Where concrete strengths are inadequate to support this locally applied pressure a layer of higher strength concrete or epoxy mortar can be used to reduce the pressure to lower values. This is more economic than the use of larger bearings.

FIXING ARRANGEMENTS

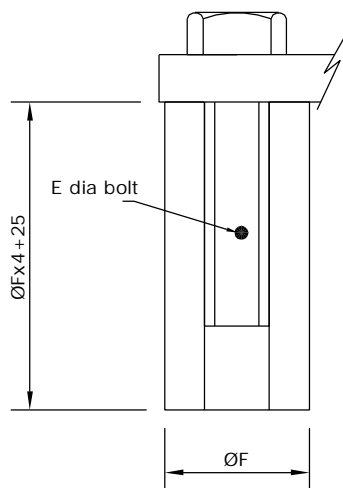
Type BTA

Although free bearings require no provision for the transfer of horizontal forces to the structure other than by the friction, it is prudent to use fixing bolts as means of ensuring correct location and bearings are provided with bolt holes for this purpose.

Types BTU and BTF

Bolt holes in the top and base plates are provided to assist the transfer of horizontal forces to the structure as well as for location purposes.

In concrete structures it is convenient to provide screwed sockets (anchor bars) which are embedded into the concrete to transfer horizontal forces. This system enables bearings to be removed relatively simply if ever required. The sockets are bolted to the bearing before installation and grouted into pre-formed pockets in the sub-structure before casting of the superstructure. Recommended dimensions of these anchor bars are shown below.



Bearing size ref.	BTA type		BTU type		BTF type	
	Bolt size E mm	anchor ØF mm	Bolt size E mm	anchor ØF mm	Bolt size E mm	anchor ØF mm
50	12	20	12	20	12	20
75	12	20	12	20	16	25
100	12	20	12	20	16	25
125	12	25	16	25	16	25
150	12	25	16	25	20	30
175	12	25	16	25	20	30
200	12	25	16	30	20	30
250	16	30	20	30	24	40
300	16	30	20	30	24	40
350	16	30	20	30	24	40
400	16	30	24	35	24	40
450	16	30	24	35	30	45
500	16	30	24	35	30	45
550	16	30	24	35	30	45
600	16	30	24	35	30	45
700	16	30	30	45	36	50
800	16	30	30	45	36	50
900	16	30	30	45	36	50
1000	16	30	30	45	36	50
1200	16	30	30	45	36	50
1400	16	30	36	50	42	60
1600	16	30	36	50	42	60
1800	16	30	36	50	42	60
2000	16	30	36	50	42	60

INSTALLATION

Correct installation of all types of structural bearings is critical to their performance. The most important aspects of installation are:

- ❑ Ensuring intimate surface contact with the structure-there must be absolutely no voids above or below the bearings.
- ❑ Cementitious or epoxy grout must be properly mixed and must be of adequate strength.
- ❑ Bearing orientation and presets must be carefully checked and adjusted where necessary.
- ❑ Horizontal and vertical alignment.
- ❑ Where applicable, anchor bars must be substantially encased within the steel reinforcement of concrete members.
- ❑ Prevention of contamination, especially slurry, of the exposed stainless steel sliding surfaces.
- ❑ Preventing mechanical damage to the corrosion protection system.

SUPPLEMENTARY INFORMATION

ROTATION

BT Pot Bearings are designed for 0.01 radians rotation about any axis. When rotation occurs the moment of resistance from the rubber disc is transferred to the structure. The value of this moment at 20°C :

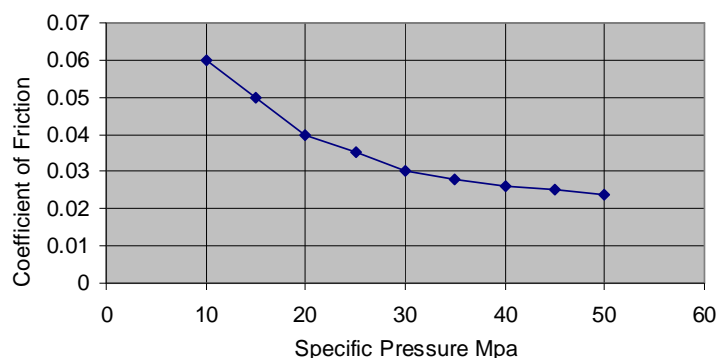
$$M_r = 4.5 \times 10^{-7} \times AA^3 \text{ kN-m} \quad \text{where AA is from the tables pages 3-5}$$

This moment results in an increase in concrete pressure at one edge of the bearing and a corresponding decrease at the opposite edge:

The maximum value is $\Delta f_c = 4.8 \text{ Mpa}$. This value is reduced proportionately with lower rotation angles.

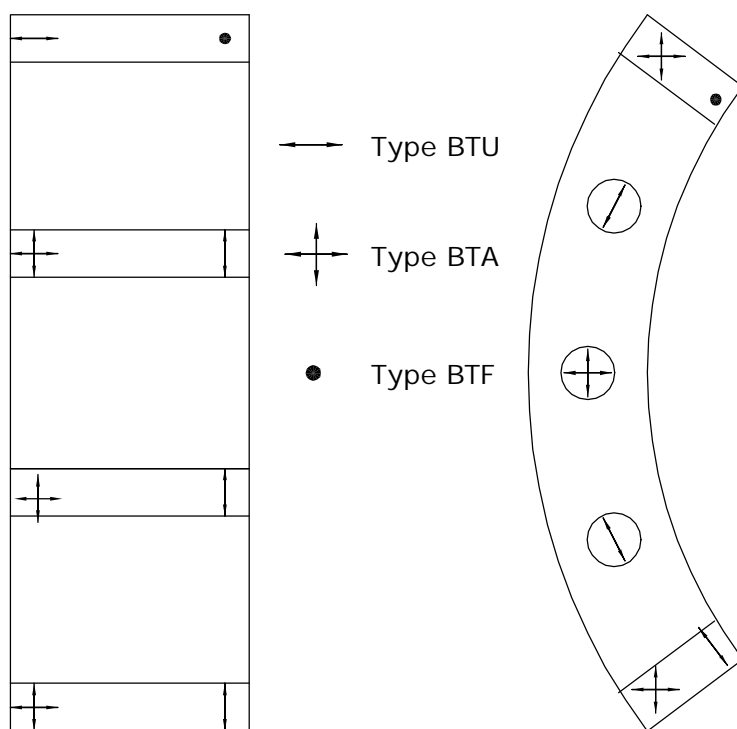
FRICTION

The coefficient of friction of the sliding surfaces can be assumed to vary between 0.015 to 0.05 depending on a number of operating variables. The most important is specific pressure. The graph below illustrates this relationship. It is safe, however, to assume a C of F of 0.03 under maximum load conditions.



HORIZONTAL FORCES

Horizontal forces can result from vehicle braking, wind force, centrifugal forces, earth movements and friction. The bearing configuration in the structure has an important influence on how these forces are distributed. The clearances between bearing components, although generally less than 1mm, may exceed the local elasticity of the structure and thus the horizontal forces may not be shared evenly between adjacent fixed or guided bearings. Typical bearing layouts are shown below.



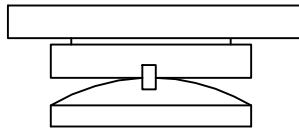
The maximum horizontal forces that can be safely accommodated by BTU and BTF type bearings are shown in the tables. It must be emphasised, however, that these forces can only be applied with a simultaneous vertical load of at least 3 times the horizontal force. When the vertical load is less than this the horizontal load capacity is reduced proportionately in the interests of stability.

SPECIAL DESIGNS

Where loading parameters are outside the limits of these Standard Pot Bearings, special designs can be produced to accommodate virtually any combination of loadings and movements.

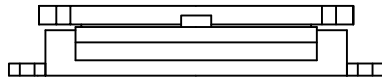
OTHER STRUCTURAL BEARING TYPES AVAILABLE

BD series



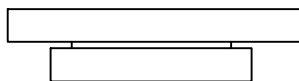
Sliding
High rotation about 1 axis
Up to 5000kN

BT series



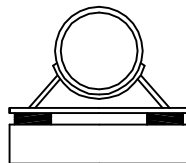
Sliding
Rotation about all axes
Up to 20000kN

BA series



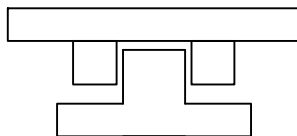
Plain sliding
No rotation
Up to 2000kN

BP series



Pipe support bearings
Rotation up to 0,04 radians
Up to 60kN
Unlimited movement

BV series



Horizontal guide
No transverse rotation
No vertical load capacity

BK series



Strip bearings
Up to 350kN/meter
Movement <10mm

BR series



Laminated rubber bearings
Limited rotation and movement
Up to 4000kN

These products are supplied by:

Technoslide (Pty) Ltd
Unit G9, Pinelands Site
Ardeer Road
Modderfontein 1645
South Africa

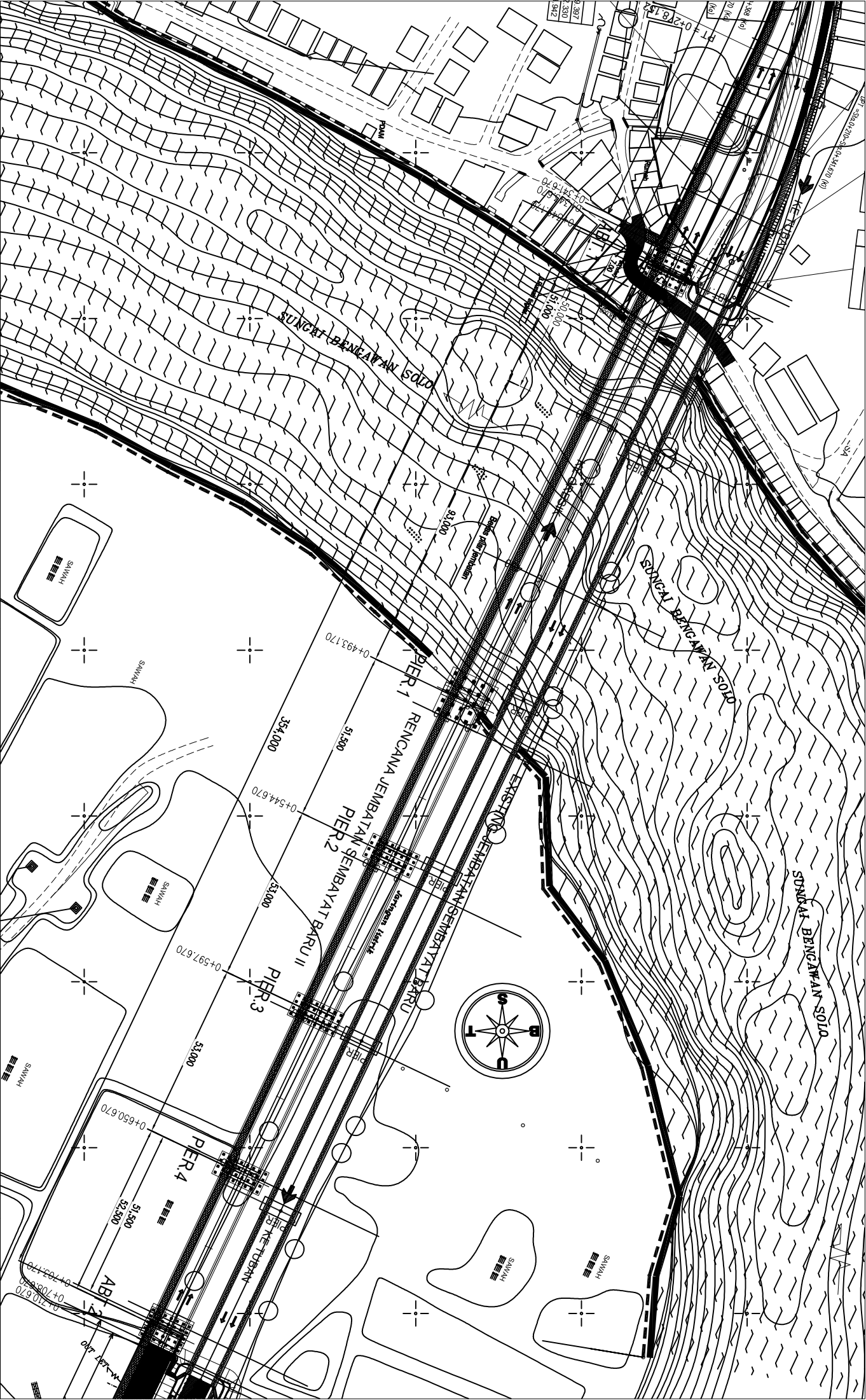
PO Box 450
Modderfontein 1645

Tel: +27 (0)87 150 2755
Fax: +27 (0)11 608 0824
E-Mail: info@technoslide.com

Bearing Technologies
13 Regent Place
Westville 3629
South Africa

Tel: +27 (0)31 266 0487
Fax: +27 (0)86 689 7107
E-Mail: microse@mweb.co.za

BT is constantly developing these products and reserves the right to change dimensions, specifications and designs at any time without prior notice.



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
-------------	----------------	------------------	---------	-------	------------

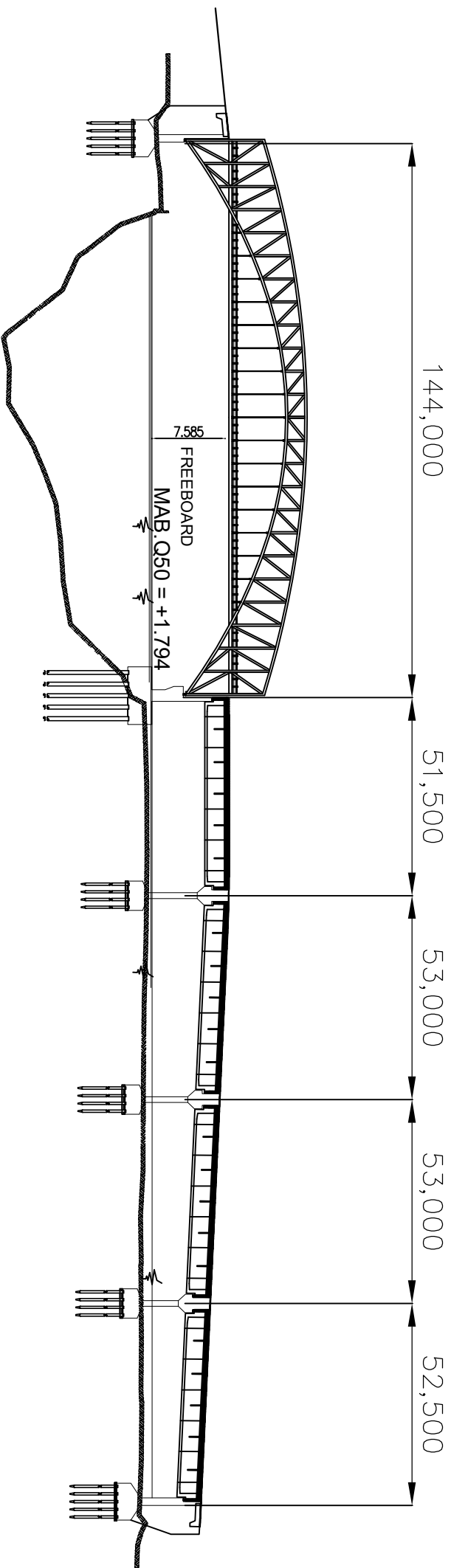
DEWAH JEMBATAN
MODIFIKASI


RIO PRASMORO
3114106052

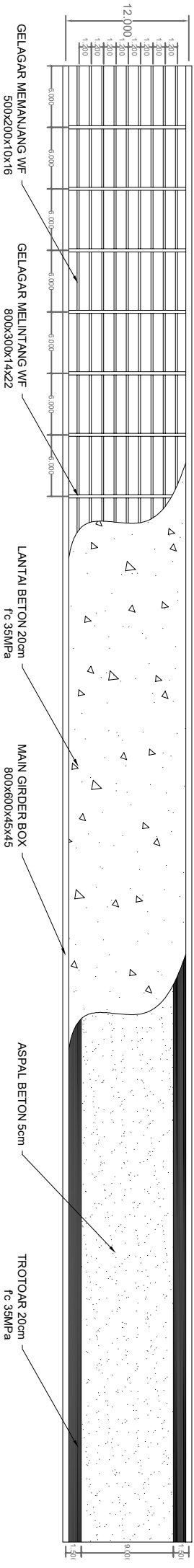
D. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S
ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.

1:1500

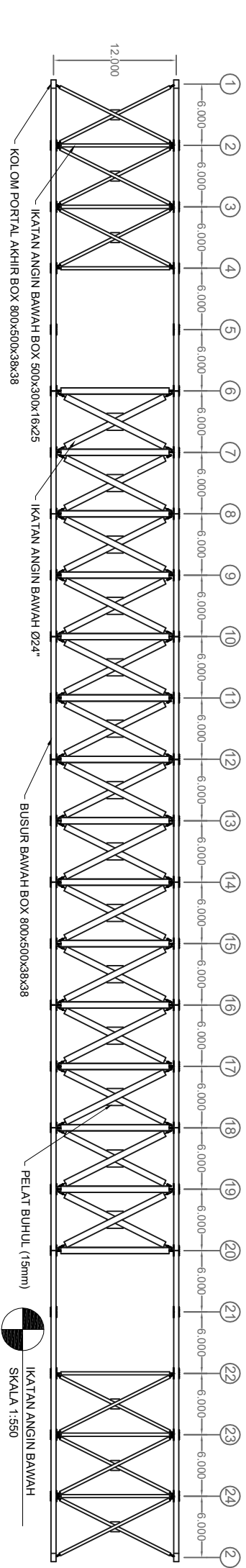
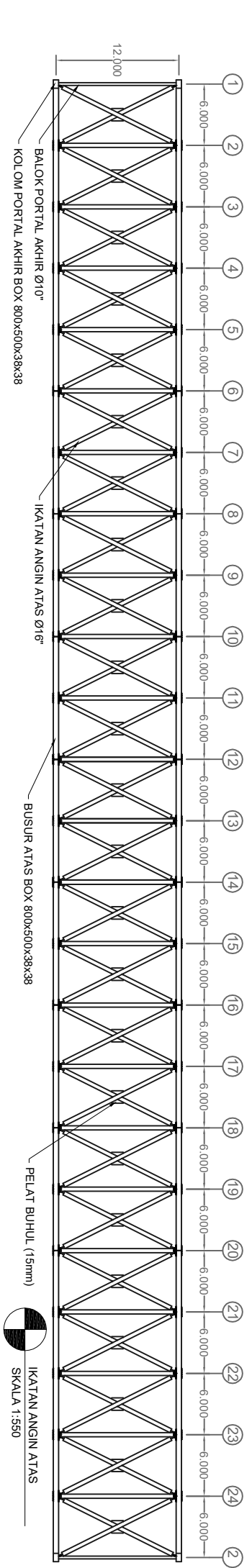
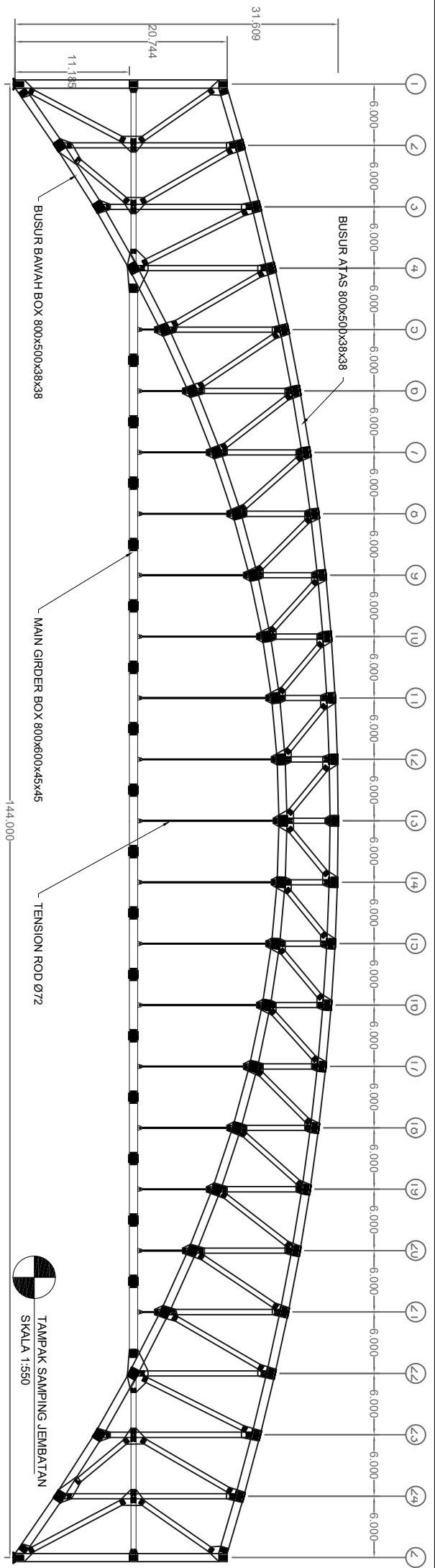
1



 <p>JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
	DENAH MODIFIKASI JEMBATAN	RIO PRASMORO 3114106052	D. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.		1:1500	2

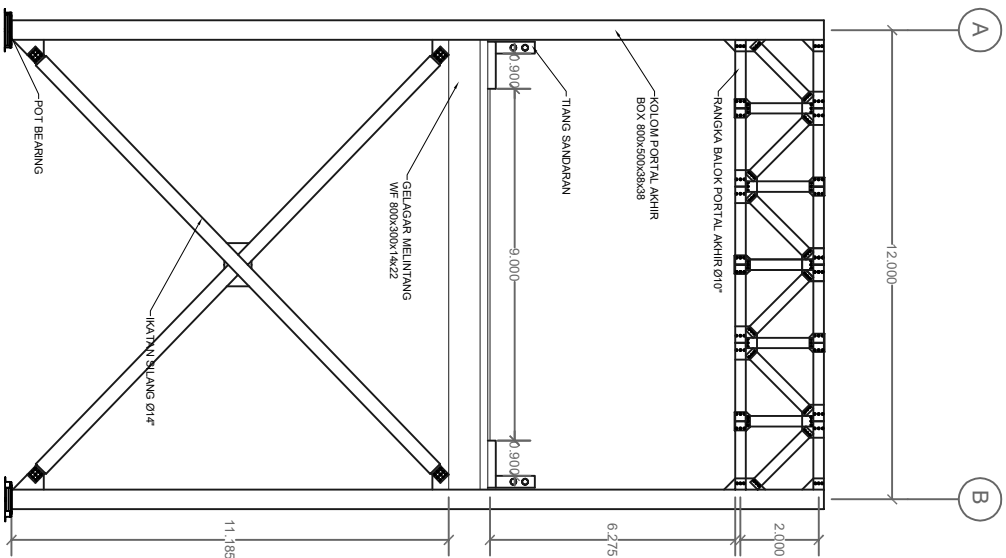


 <div>JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</div>	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
	DENAH MODIFIKASI JEMBATAN	RIO PRASMORO 3114106052	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran M.S Endah Wahyuni S.T., M.Sc., Ph.D.		1:1500	3

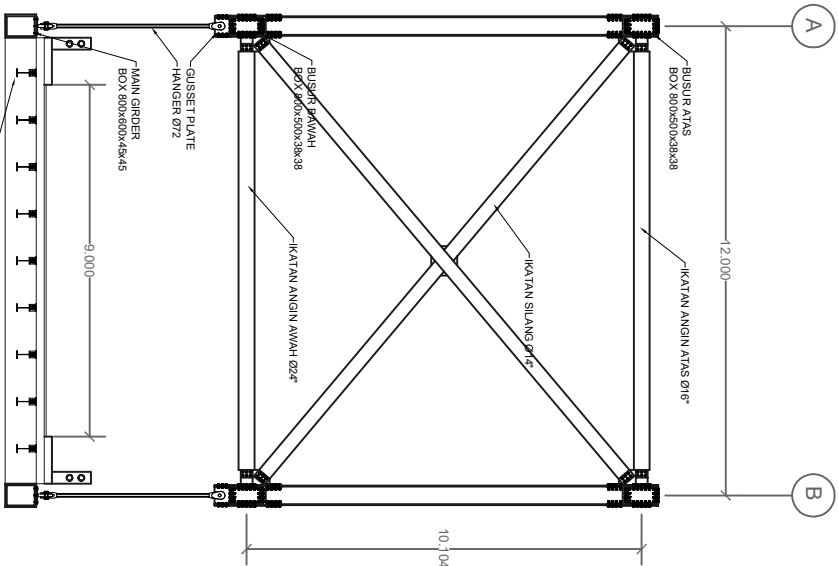


JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

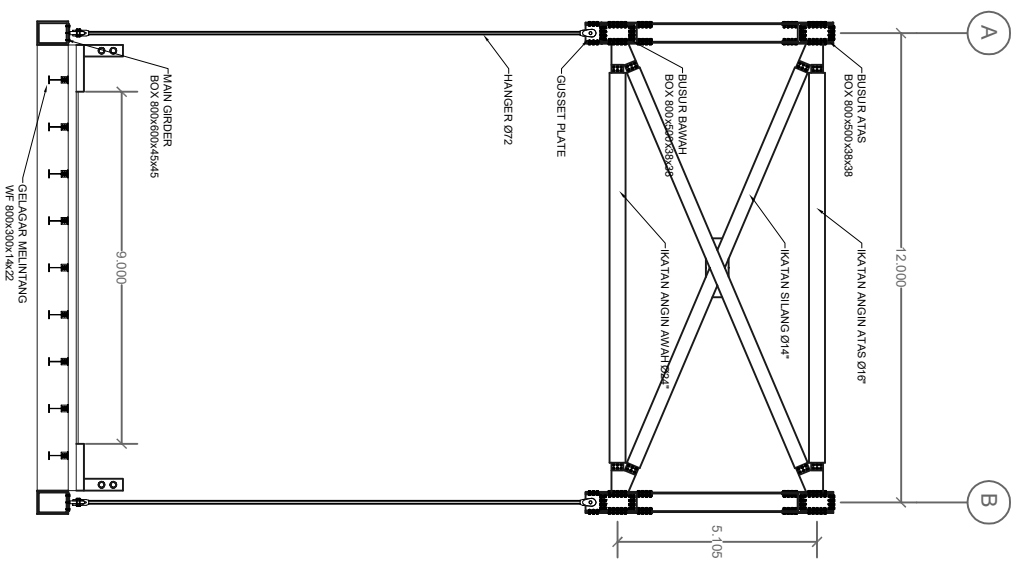
NAMA GAMBAR		NAMA MAHASISWA		DOSEN PEMBIMBING		CATATAN		SKALA	NO. GAMBAR
TAMPAK JEMBATAN		RIO PRASMORO 3114106052		Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.				1:550	



POTONGAN CROSS SECTION 1
SKALA 1:200

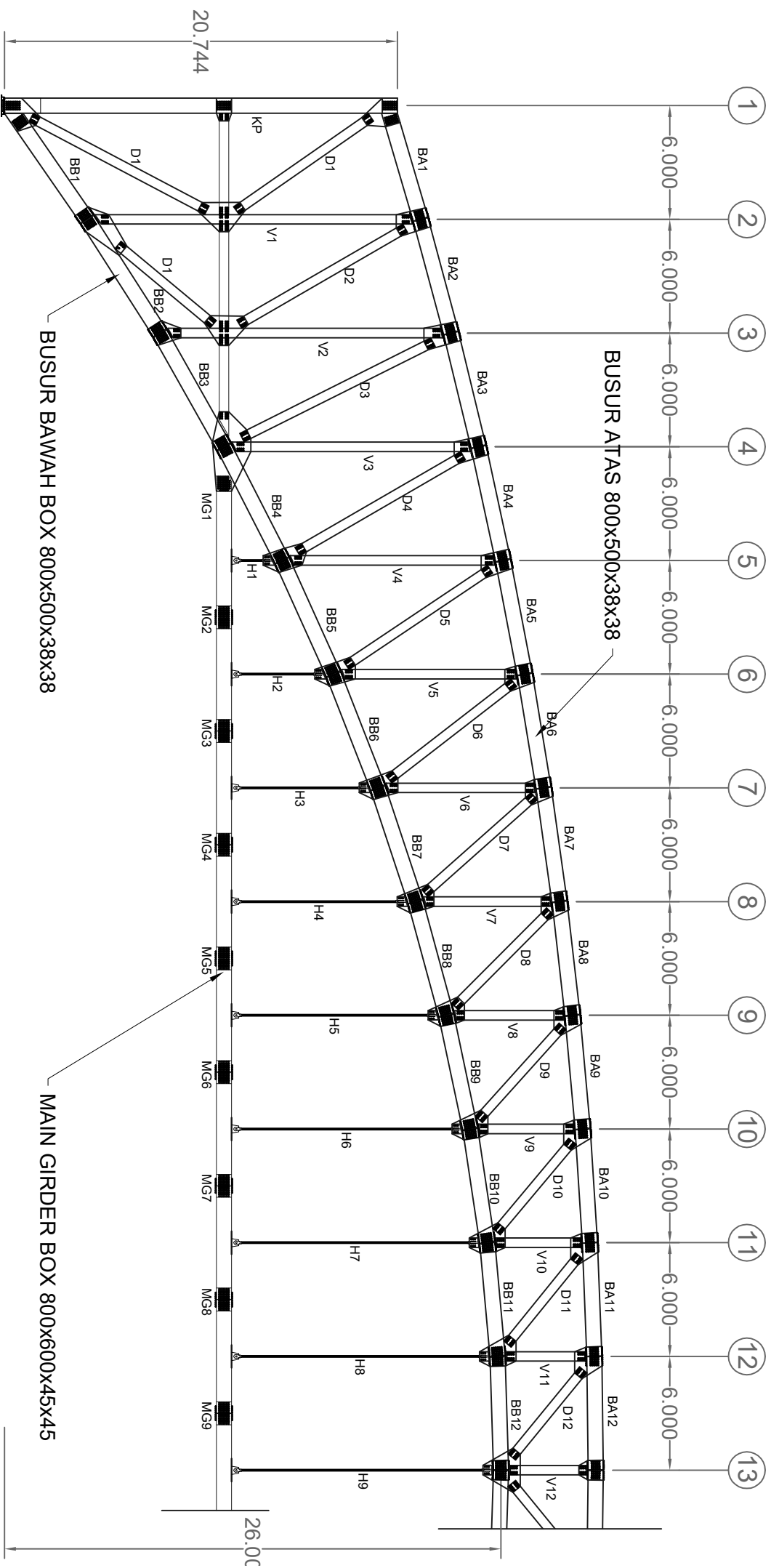


POTONGAN CROSS SECTION 6
SKALA 1:200

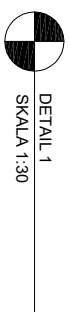
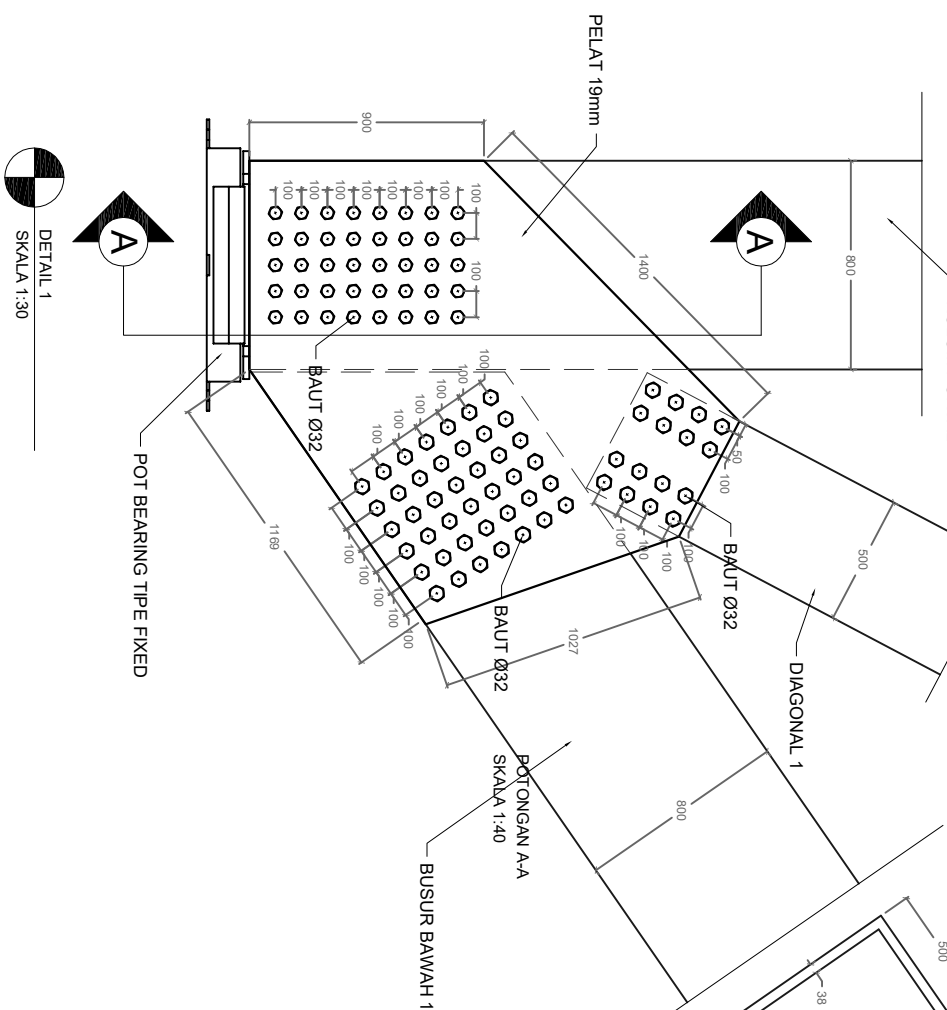
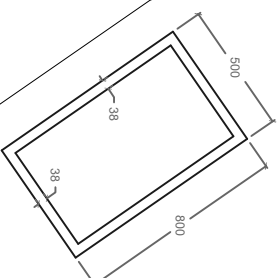
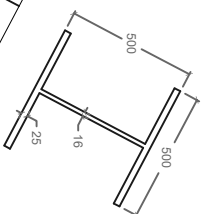
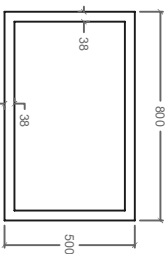
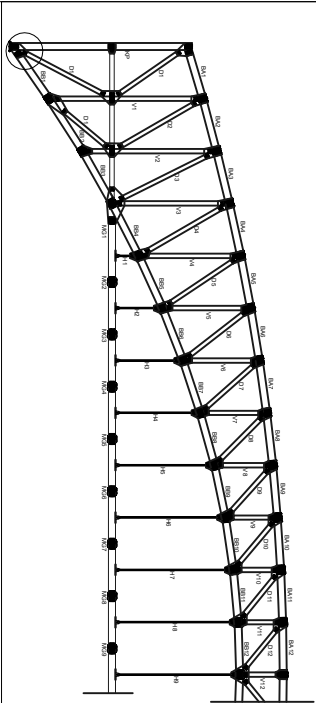


POTONGAN CROSS SECTION 12
SKALA 1:200

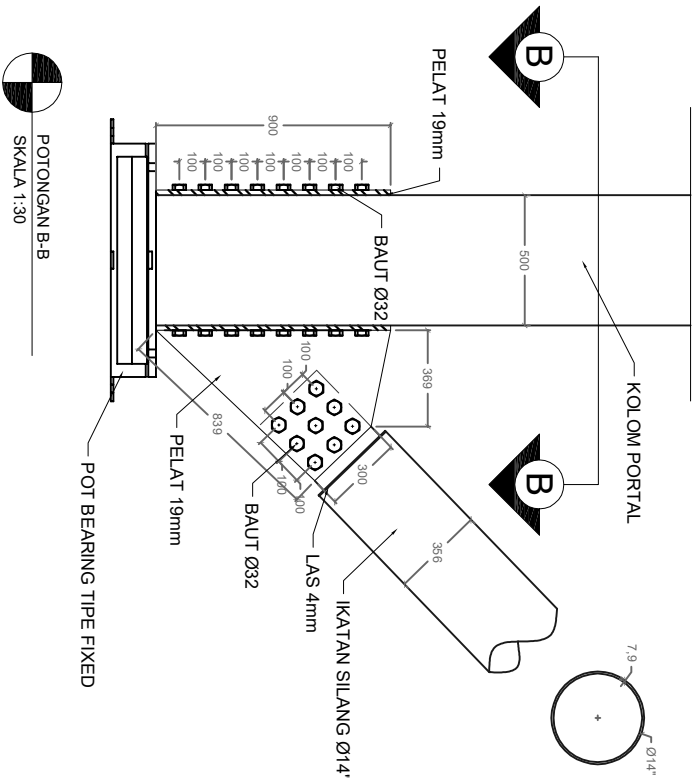
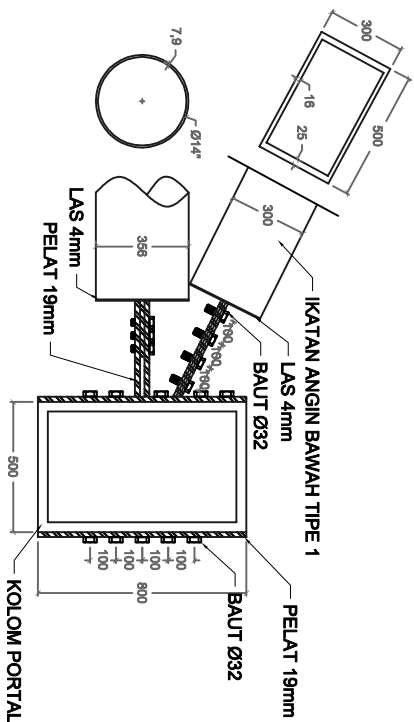
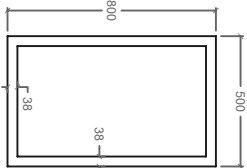
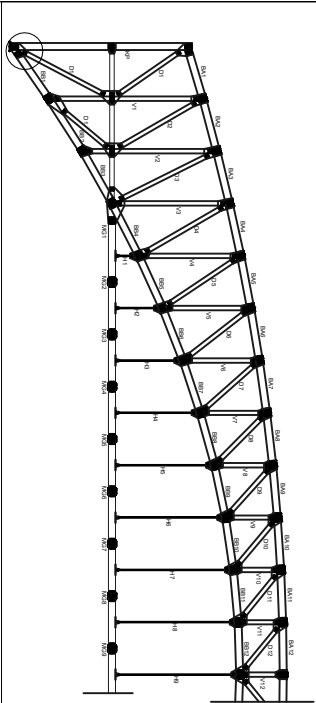




NAMA GAMBAR		DOSEN PEMBIMBING		CATATAN		SKALA	NO. GAMBAR
DETAIL JEMBATAN	NAMA MAHASISWA RIO PRASMORO 3114106052	D. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.		BA = BUSUR ATAS BB = BUSUR BAWAH D = DIAGONAL V = VERTIKAL	H = HANGER MG = MAIN GIRDER KP = KOLOM PORTAL	1:300	



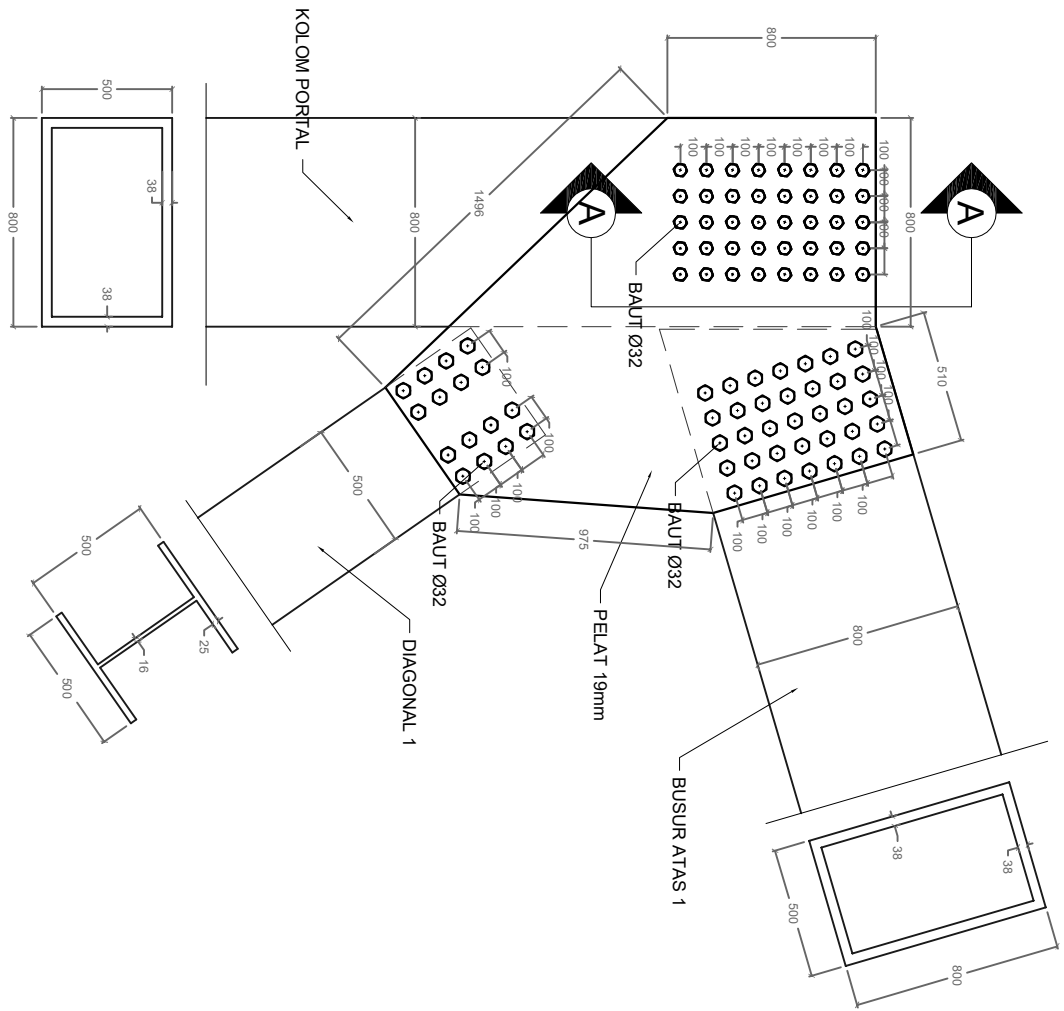
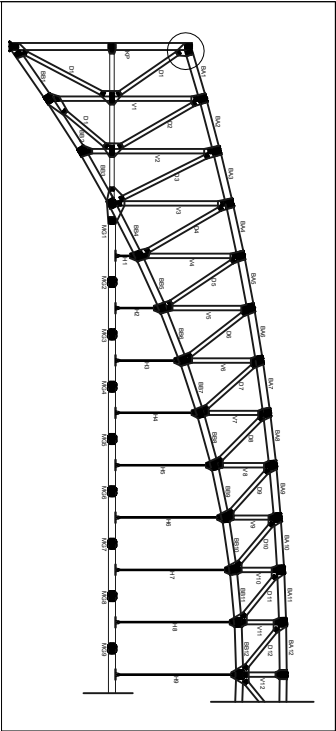
 <p>JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
	DETAIL JEMBATAN	RIO PRASMORO 3114106052	Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.			7



POTONGAN A-A
SKALA 1:30

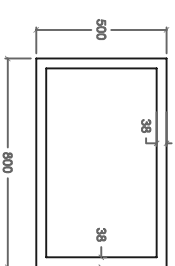
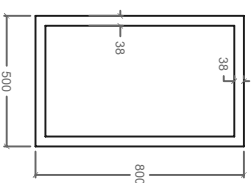
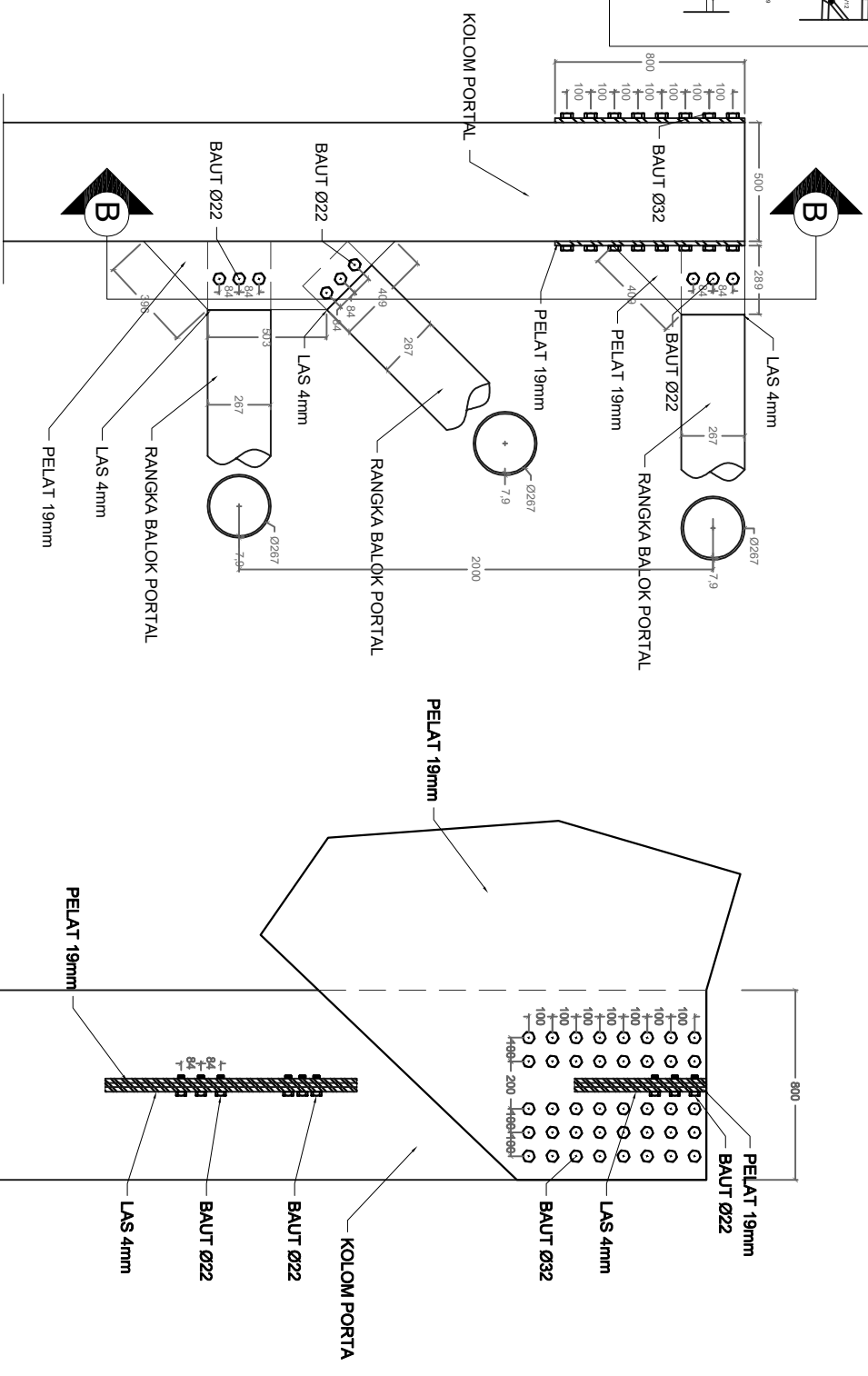
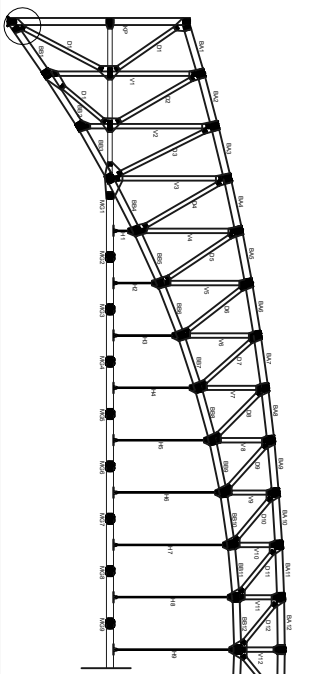
POTONGAN B-B
SKALA 1:30

	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA RIO PRASMORO 3114106052	DOSEN PEMBIMBING Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.	CATATAN BA = BUSUR ATAS BB = BUSUR BAWAH D = DIAGONAL V = VERTIKAL H = HANGER MG = MAIN GIRDER KP = KOLOM PORTAL	SKALA	NO. GAMBAR 8
--	--	-------------	--	---	---	-------	-----------------



DETAIL 2
SKALA 1:30

 JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
	DETAIL JEMBATAN	RIO PRASMORO 3114106052	D. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.			9



POTONGAN A-A
SKALA 1:30



POTONGAN B-B
SKALA 1:30



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NAMA GAMBAR

NAMA MAHASISWA

DOSEN PEMBIMBING

CATATAN

SKALA	NO. GAMBAR
-------	------------

DETAIL JEMBATAN

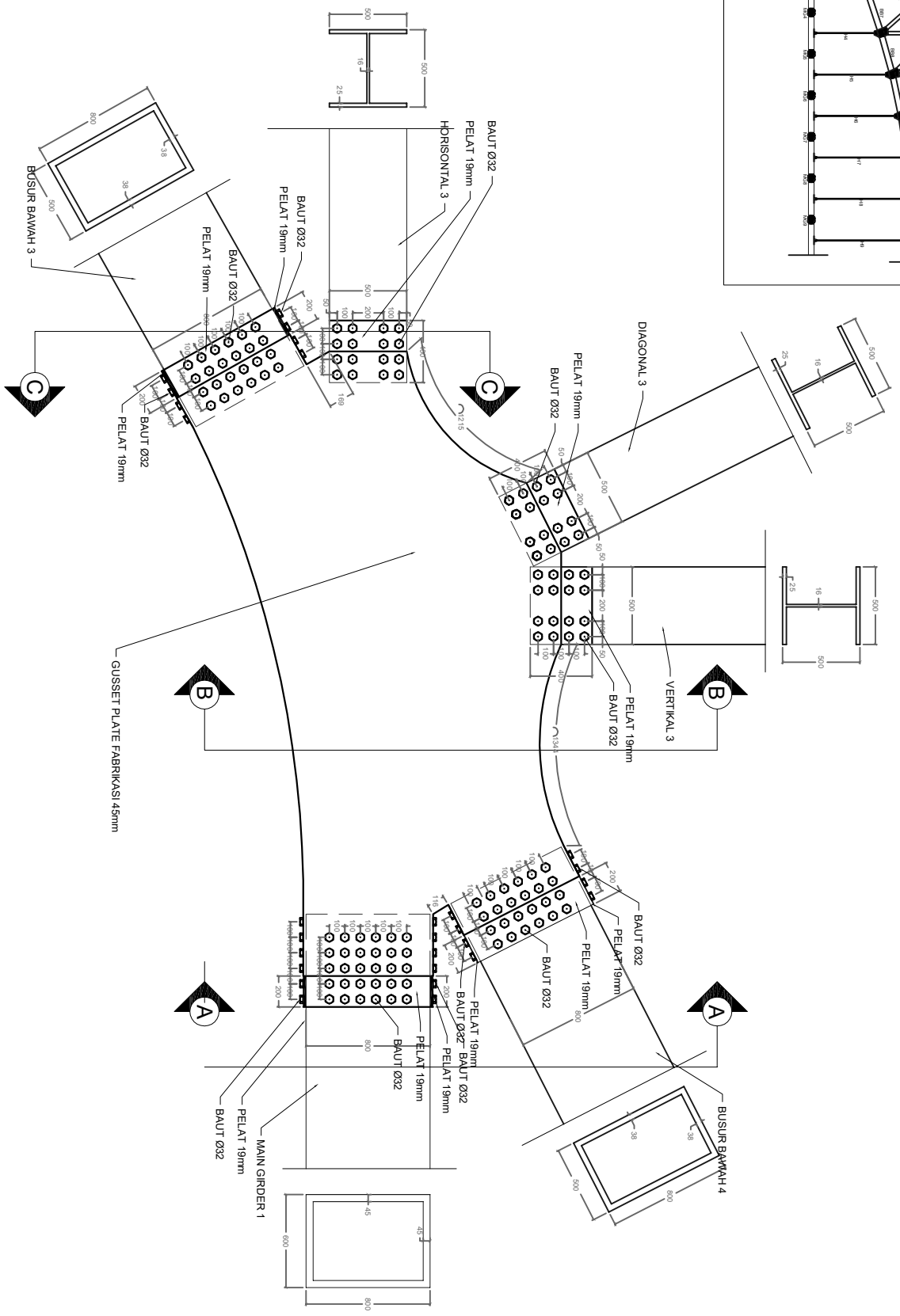
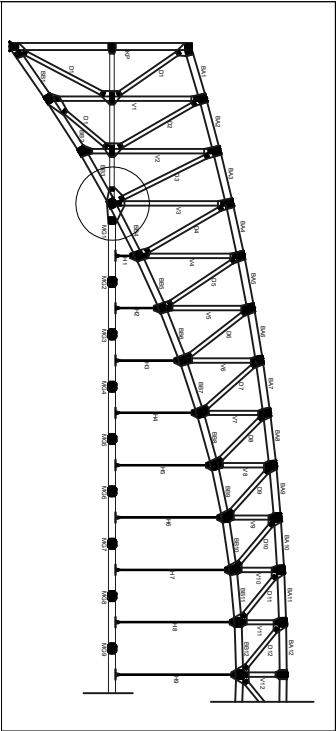
RIO PRASMORO
3114106052

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran M.S.
Endah Wahyuni S.T., M.Sc., Ph.D.

BA = BUSUR ATAS
BB = BUSUR BAWAH
D = DIAGONAL
V = VERTIKAL

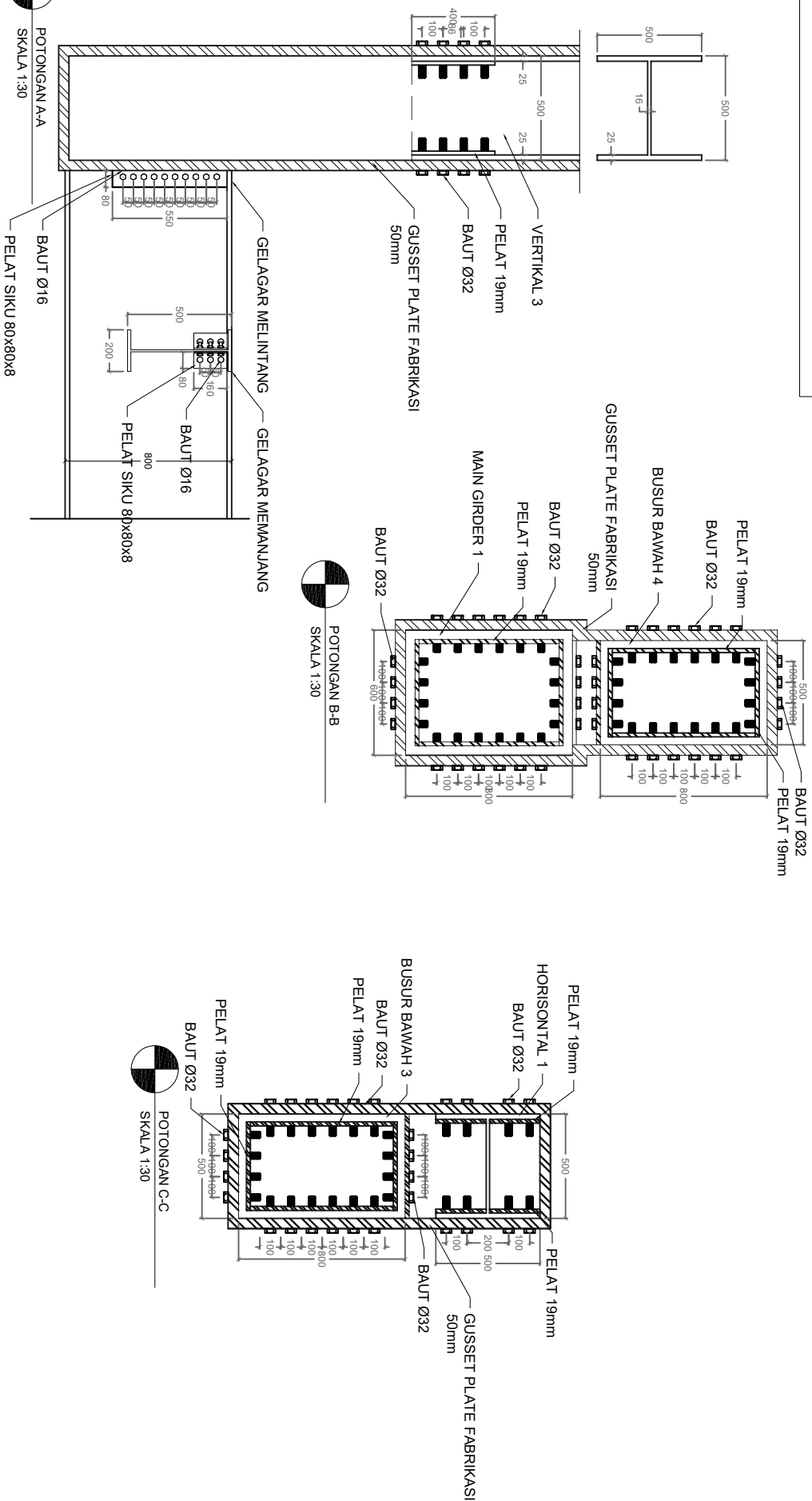
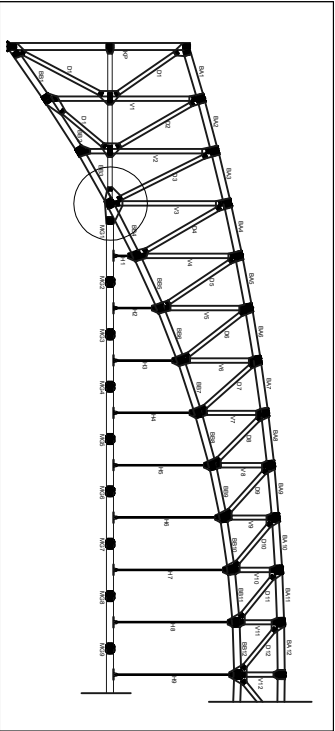
H = HANGER
MG = MAIN GIRDER
KP = KOLOM PORTAL

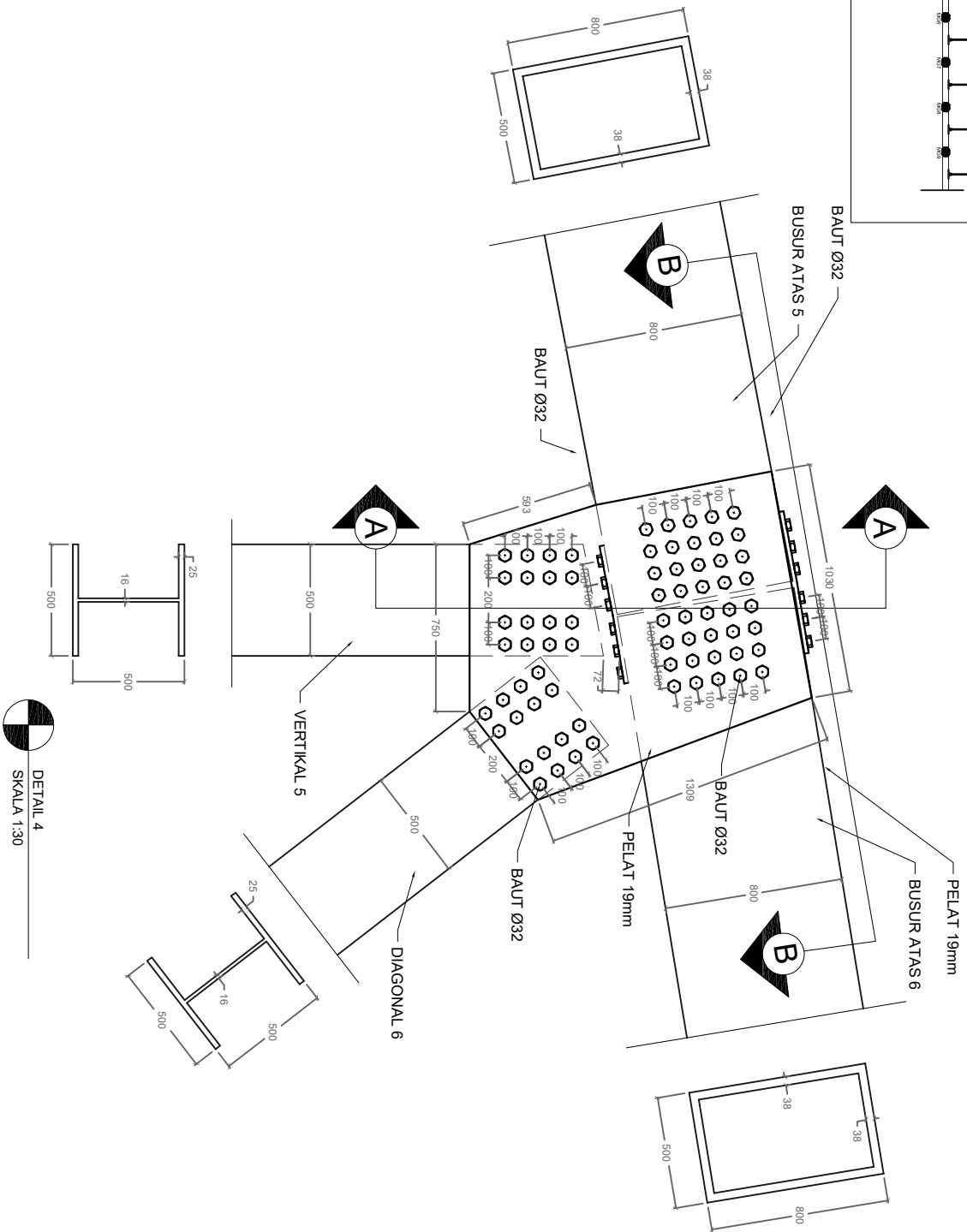
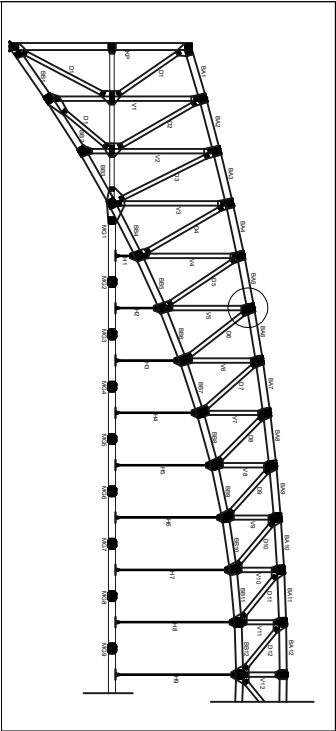
1:300



DETAIL 3
SKALA 1:40

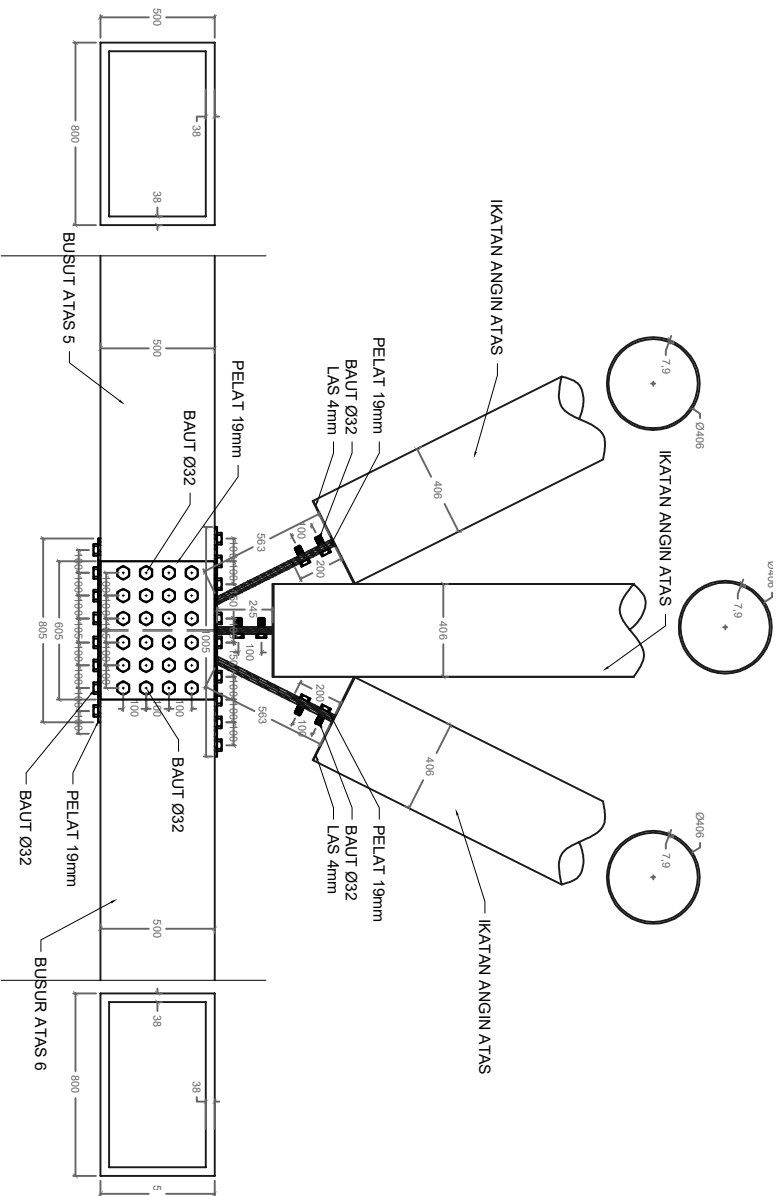
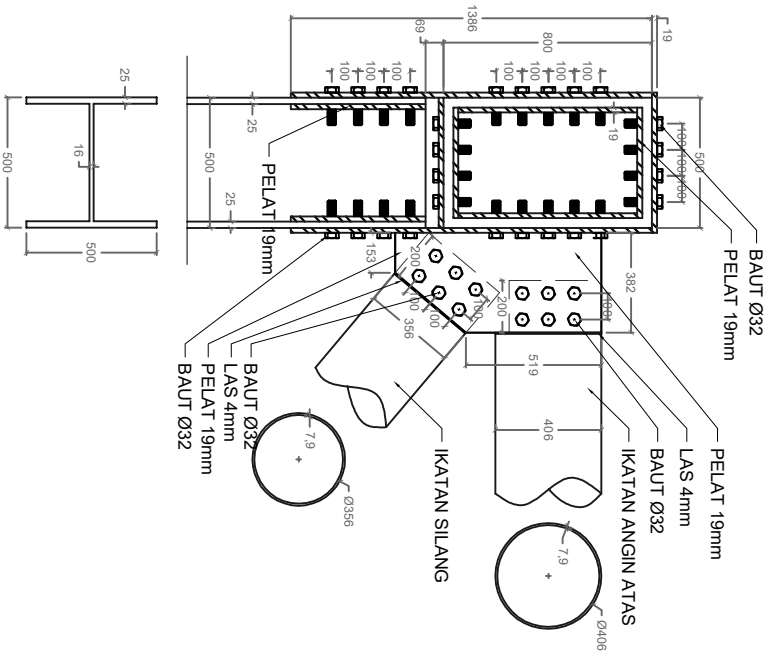
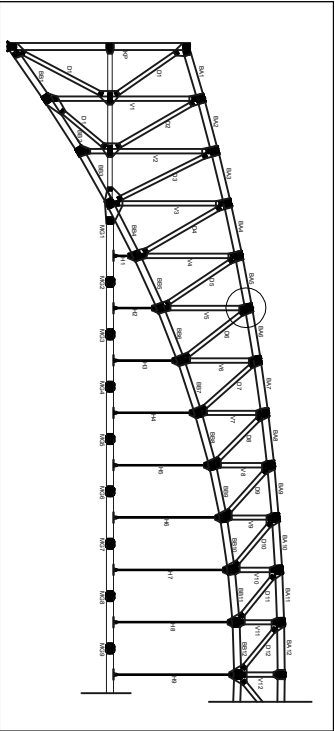
 JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
	DETAIL JEMBATAN	RIO PRASMORO 3114106052	Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.			





DETAIL 4
SKALA 1:30

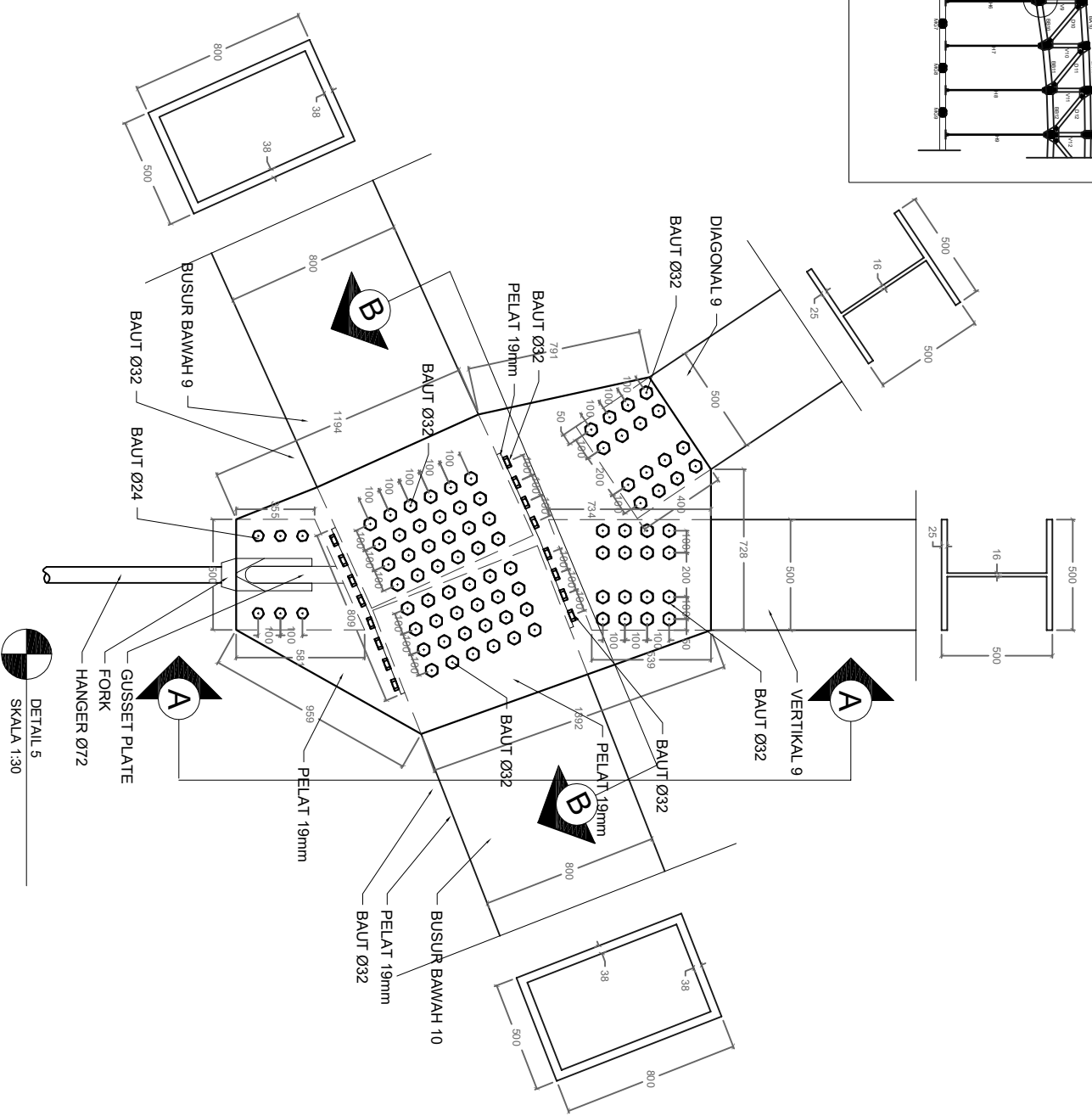
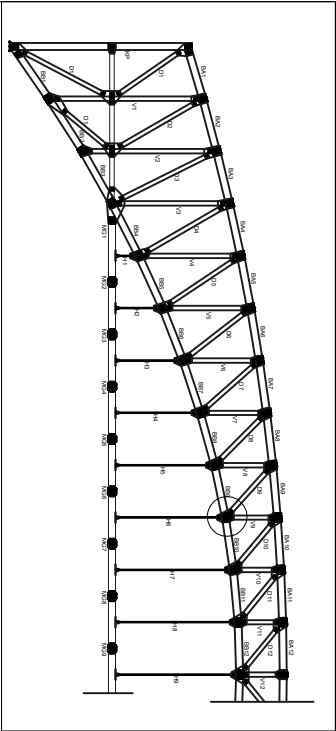
 JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
	DETAIL JEMBATAN	RIO PRASMORO 3114106052	D. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.			13



POTONGAN A-A
SKALA 1:30

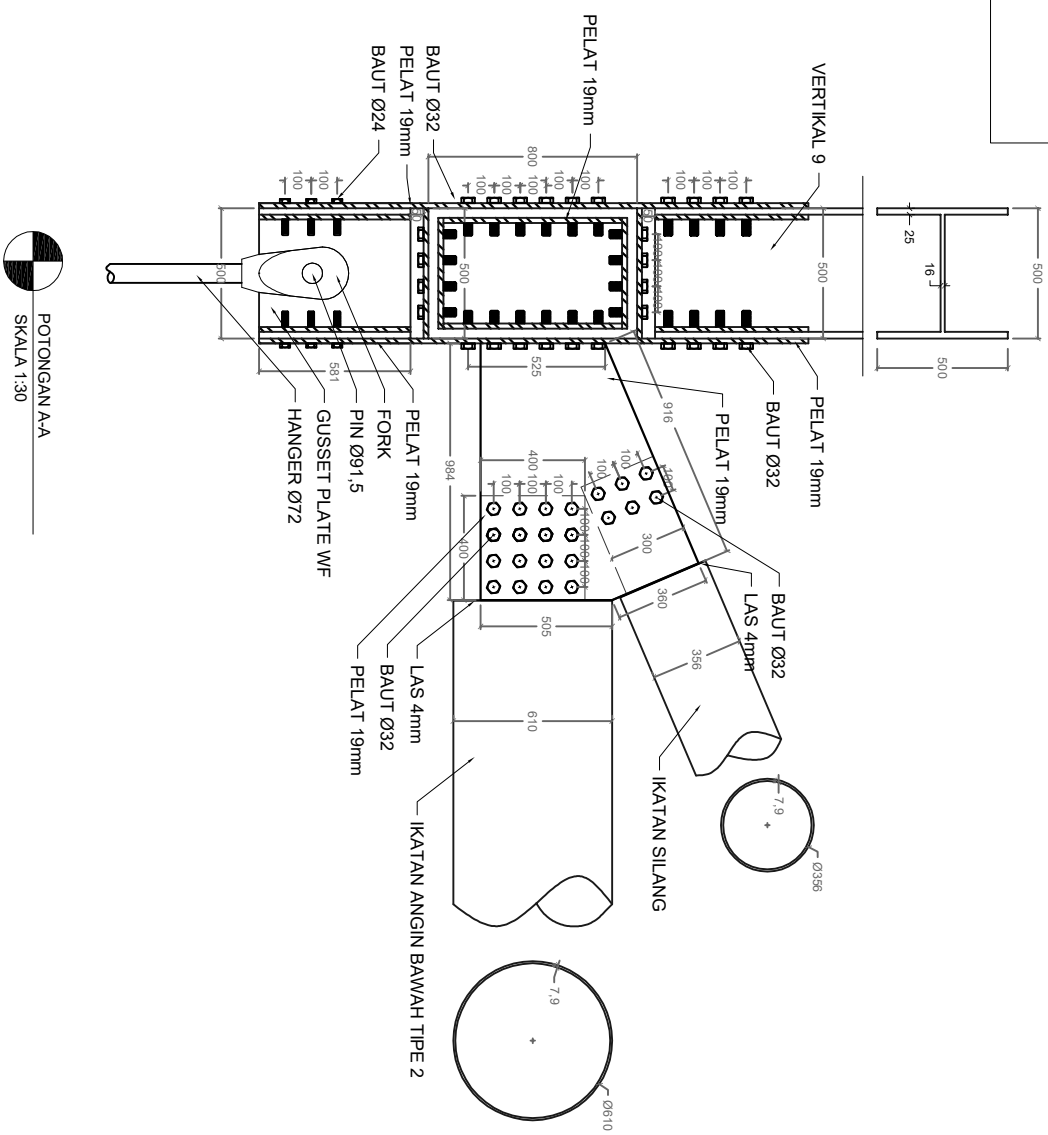
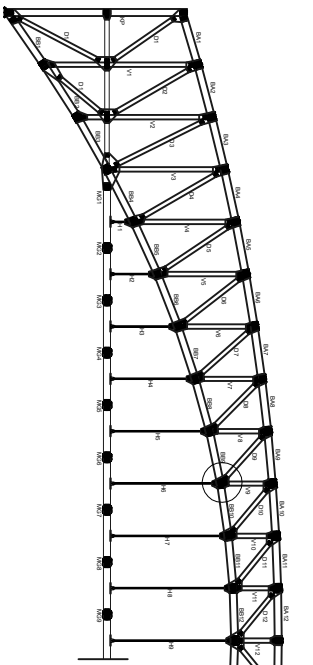
POTONGAN B-B
SKALA 1:30

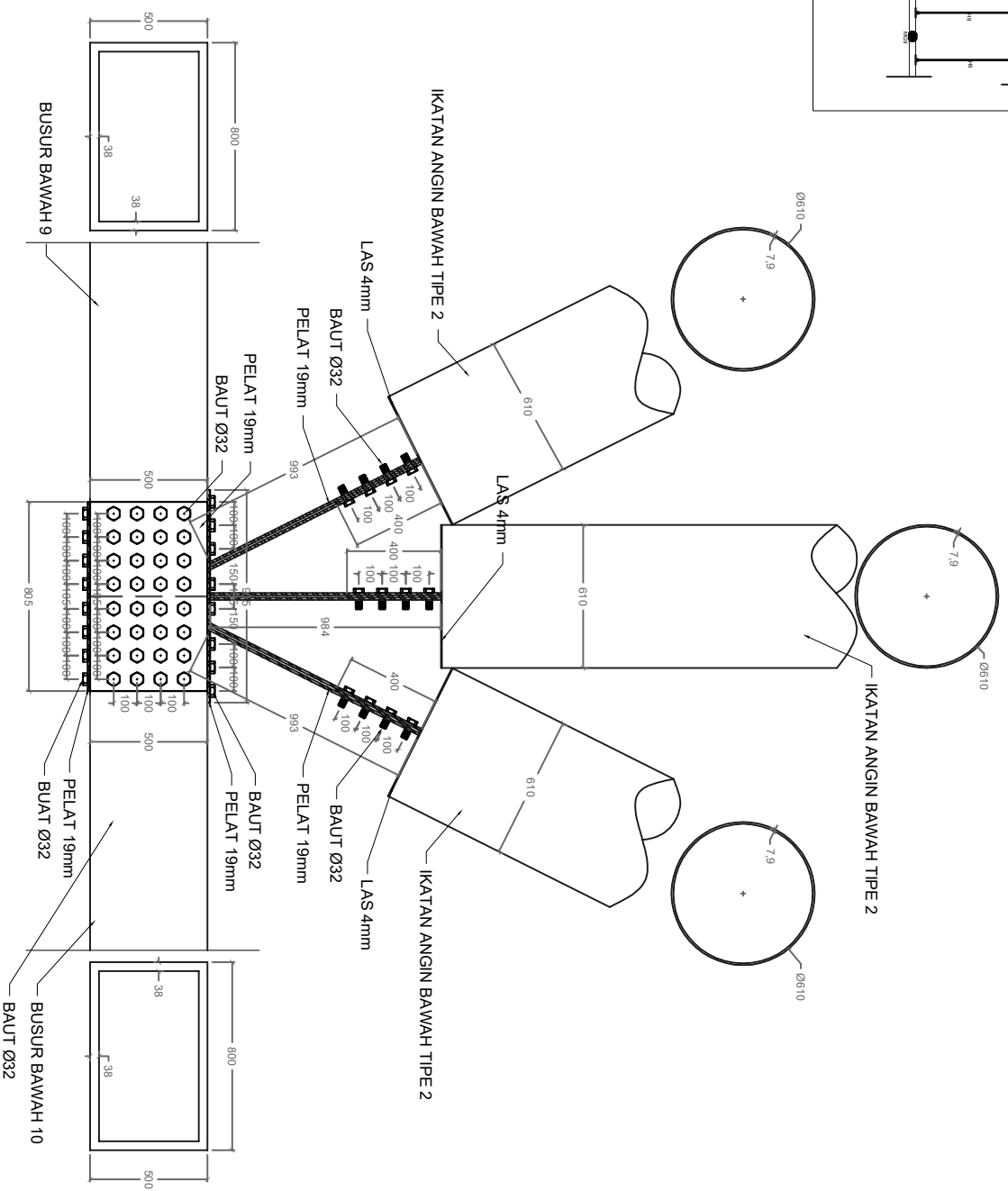
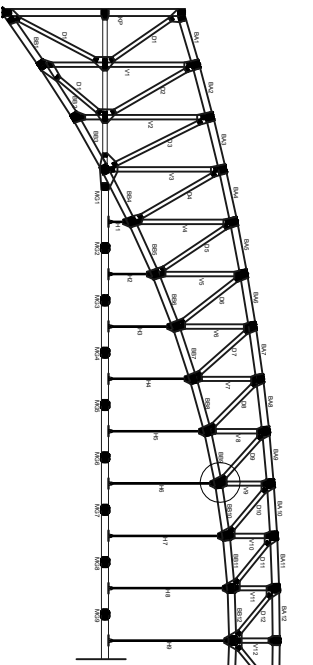
	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER					
	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
	DETAIL JEMBATAN	RIO PRASMORO 3114106052	Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.			14



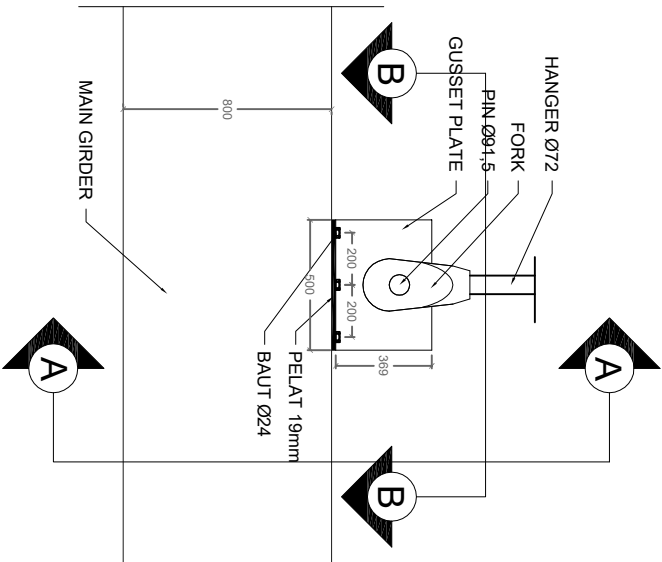
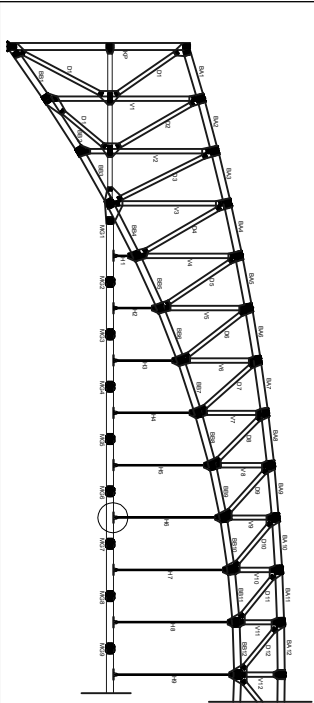
DETAIL 5
SKALA 1:30

	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER				SKALA	NO. GAMBAR
	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN		
	DETAIL JEMBATAN	RIO PRASMORO 3114106052	D. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.			15

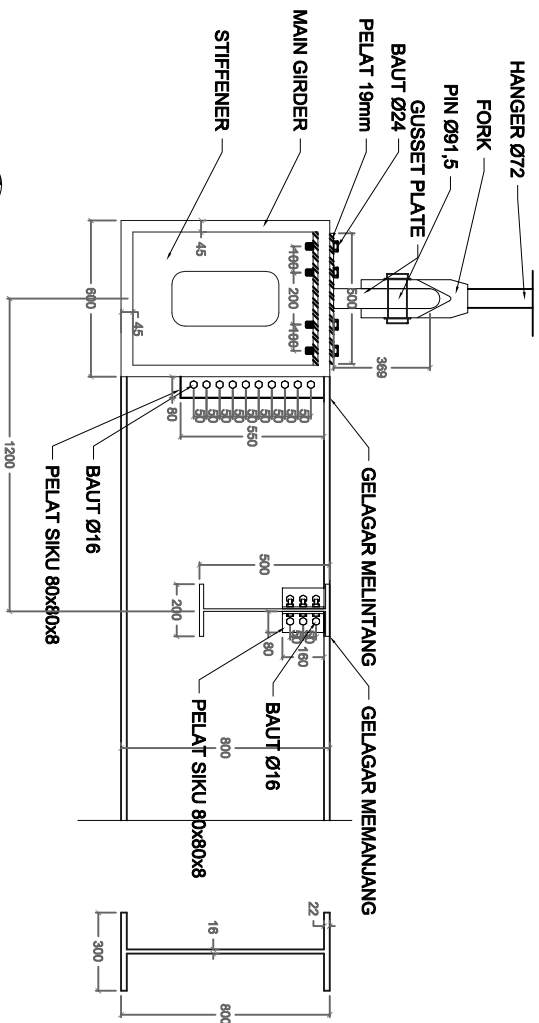




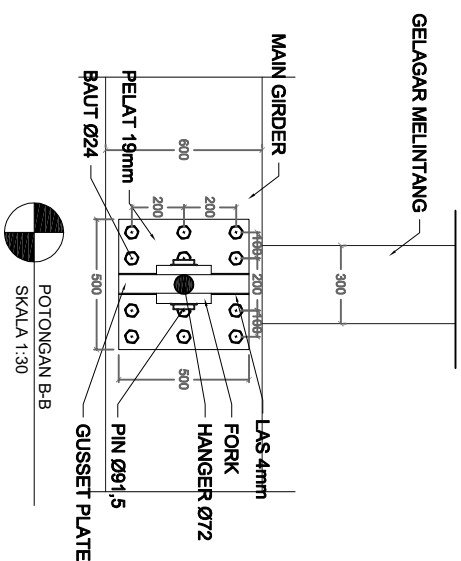
POTONGAN B-B
SKALA 1:30



DETAIL 6
SKALA 1:30

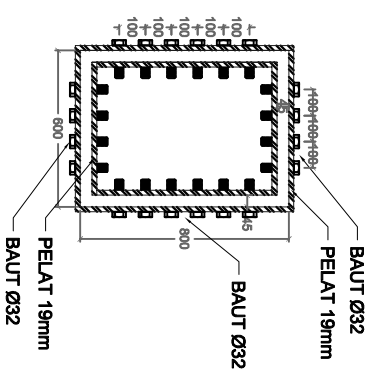
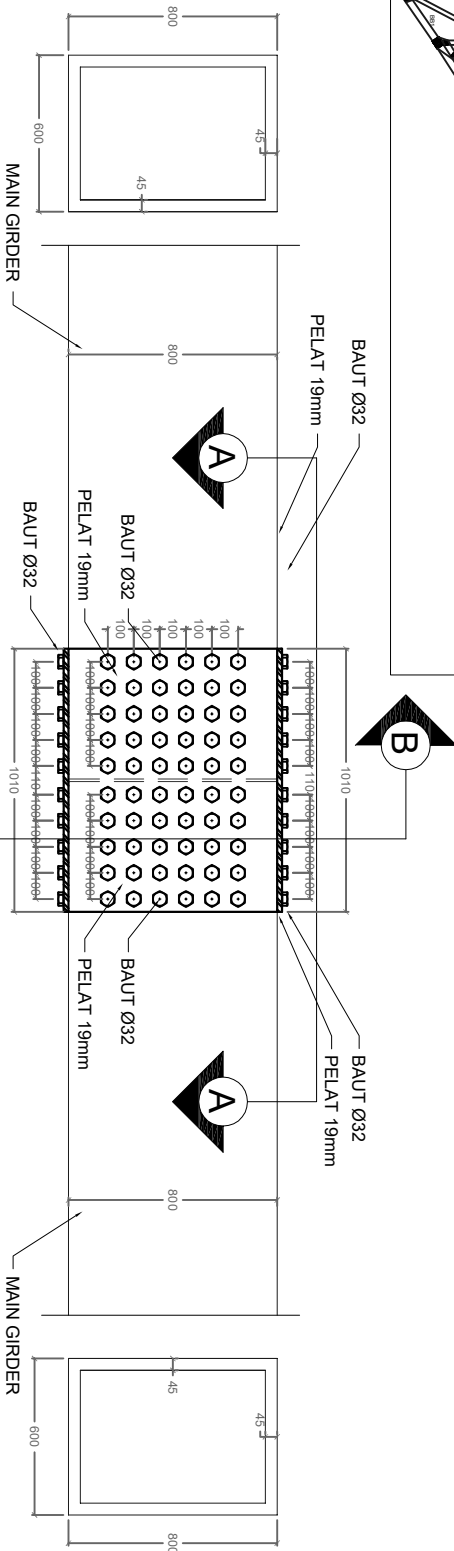
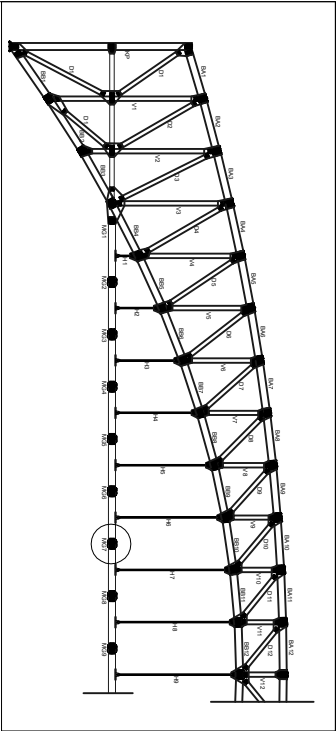


POTONGAN A-A
SKALA 1:30

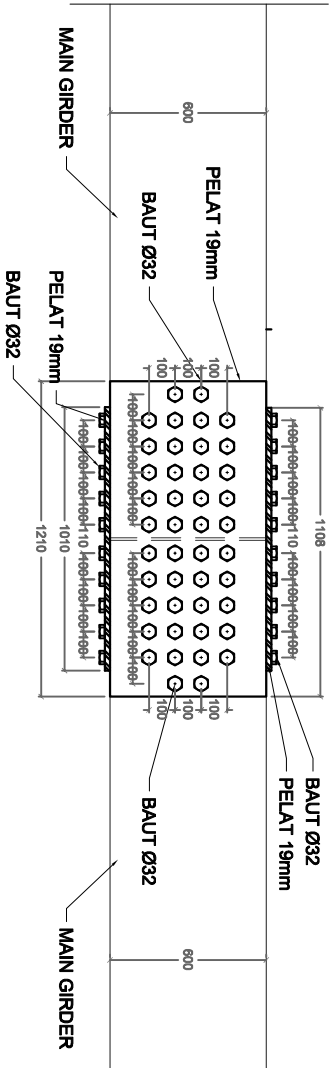
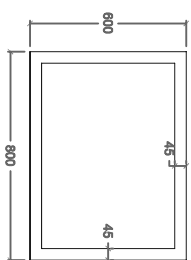


POTONGAN B-B
SKALA 1:30



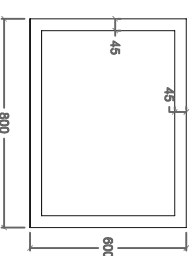


DETAIL 7
SKALA 1:30

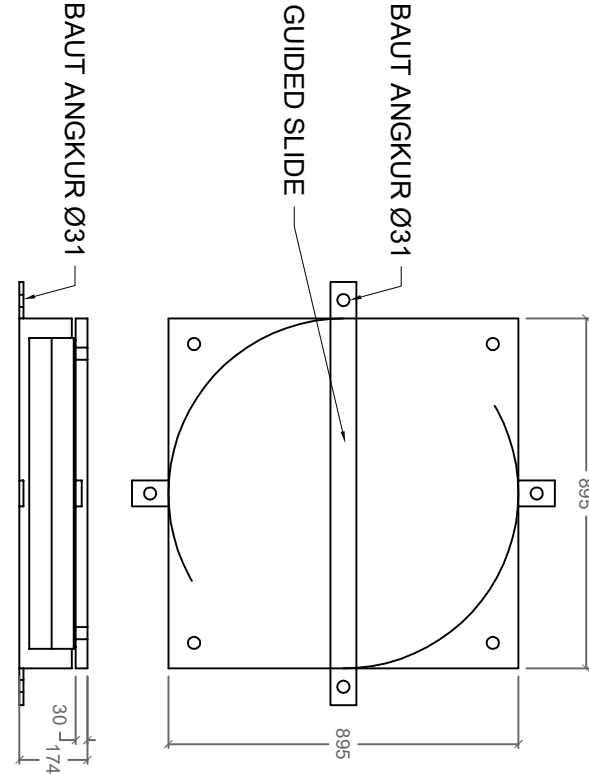
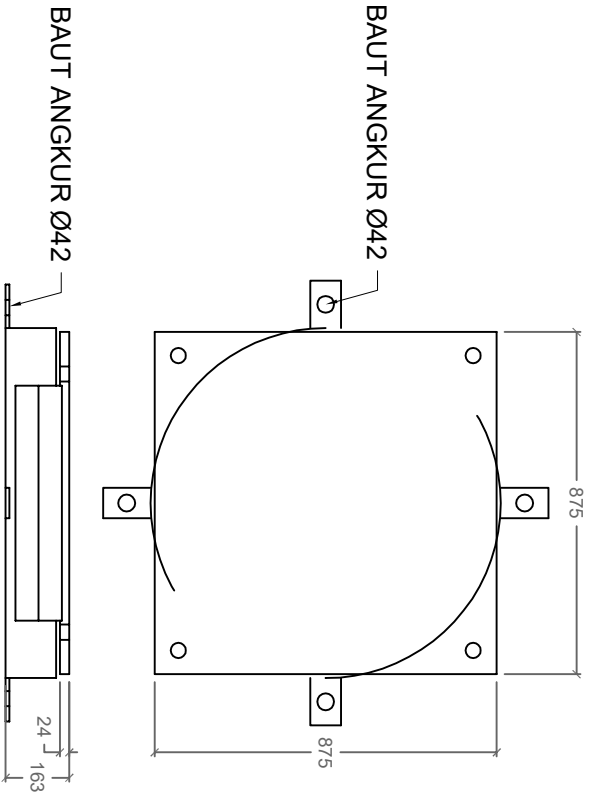


POTONGAN B-B
SKALA 1:30

POTONGAN A-A
SKALA 1:30



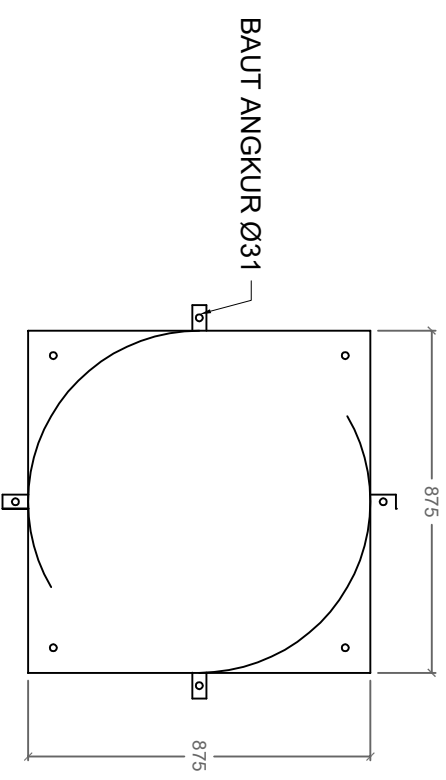
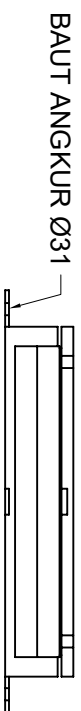
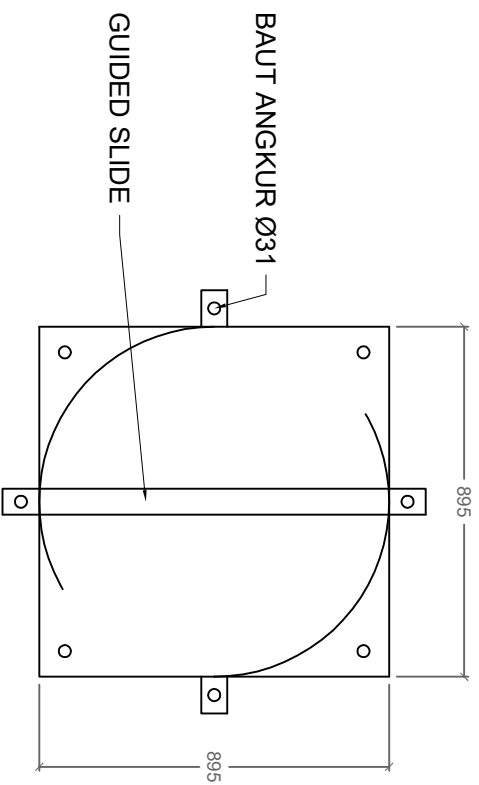
	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA GAMBAR	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
		DETAIL JEMBATAN	RIO PRASMORO 3114106052	D. Ir. HIDAYAT SOEGIHARJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.			19



FIXED BEARING TIPE BTf 1000/20
SKALA 1:20

UNIDIRECTION BEARING TIPE BTU 1000/20*
SKALA 1:20


 <div>JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</div>	NAMA GAMBAR		NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	CATATAN	SKALA	NO. GAMBAR
	PERLETIAKAN JEMBATAN		RIO PRASMORO 3114106052				



UNIDIRECTION BEARING TIPE BTU 1000/20/*
SKALA 1:20



MULTIDIRECTION BEARING TIPE BTA 1000/20/*
SKALA 1:20

 <p>JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	<p>NAMA GAMBAR</p> <p>PERLETAKAN JEMBATAN</p>	<p>NAMA MAHASISWA</p> <p>RIO PRASMORO 3114106052</p>	<p>DOSEN PEMBIMBING</p> <p>D. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN M.S ENDAH WAHYUNI S.T., M.Sc., Ph.D.</p>	<p>CATATAN</p>	<p>SKALA</p>	<p>NO. GAMBAR</p> <p>21</p>
---	---	--	--	----------------	--------------	-----------------------------

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Rio Prasmoro lahir di Jakarta 17 Oktober 1991 yang merupakan putra pertama dari 3 bersaudara. Sebelumnya penulis pernah mengenyam pendidikan formal di TK Islam Al-fajar, SD Islam Al-Fajar, Bekasi, SMPN 172 Jakarta dan SMAN 103 Jakarta. Setelah menyelesaikan studinya di SMAN 103 Jakarta, Penulis melanjutkan pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta dengan bidang konsentrasi Teknik Konstruksi Sipil yang ditempuh selama 3 tahun dan lulus pada tahun 2012.

Pada tahun 2012, Penulis bekerja di PT. Saptaindra Sejati, perusahaan swasta nasional di bidang jasa pertambangan. Pada tahun 2015, penulis resign dan melanjutkan studi ke jenjang sarjana di Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 3114106052. Di Jurusan Teknik Sipil ini, Penulis mengambil bidang studi struktur sebagai Tugas Akhirnya. Apabila ada yang ingin ditanyakan terkait laporan ini dapat menghubungi penulis pada email rio.prasmoro@gmail.com.